



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



**CRESCIMENTO, PRODUÇÃO, TROCAS GASOSAS E QUALIDADE DE *Beta vulgaris* L. COM ÁGUAS SALINAS E SILÍCIO VIA FOLIAR E SOLO**

**JOSÉ SEBASTIÃO DE MELO FILHO**

**AREIA, PB**

**2019**

**JOSÉ SEBASTIÃO DE MELO FILHO**

**CRESCIMENTO, PRODUÇÃO, TROCAS GASOSAS E QUALIDADE DE *Beta vulgaris* L. COM ÁGUAS SALINAS E SILÍCIO VIA FOLIAR E SOLO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de “Doutor em Agronomia”. Área de Concentração: Agricultura Tropical.

**Orientador:** Prof. Dr. Thiago Jardelino Dias

**AREIA, PB**

**Fevereiro de 2019**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catálogo e Classificação**

F481c Filho, José Sebastião de Melo.

Crescimento, produção, trocas gasosas e qualidade de  
Beta vulgaris L. com águas salinas e silício via foliar  
e solo / José Sebastião de Melo Filho. – Areia, 2019.  
84 f.

Orientação: Thiago Jardelino Dias.  
Tese (Doutorado) – UFPB/CCA.

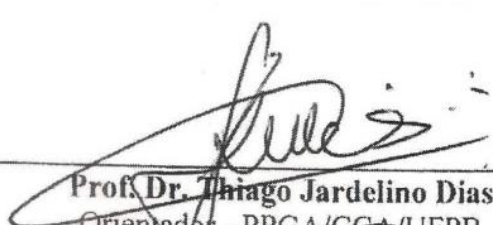
1. Beta vulgaris L. 2. silicato de potássio. 3.  
estresse salino. 4. fotossíntese. I. Thiago Jardelino  
Dias. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

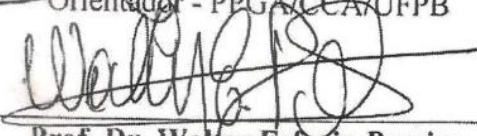
**JOSÉ SEBASTIÃO DE MELO FILHO**

**CRESCIMENTO, PRODUÇÃO, TROCAS GASOSAS E QUALIDADE DE *Beta vulgaris* L. COM ÁGUAS SALINAS E SILÍCIO VIA FOLIAR E SOLO**

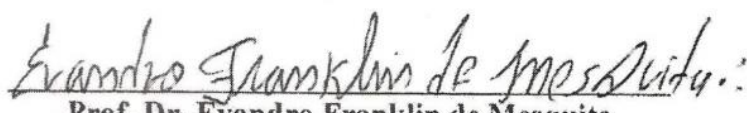
TESE APROVADA EM 19/02/2019.



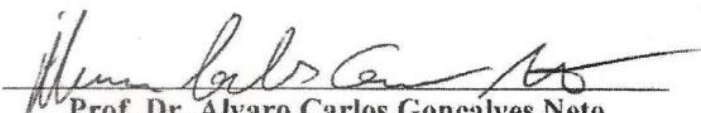
Prof. Dr. Thiago Jardelino Dias  
Orientador - PPGA/CCA/UFPB



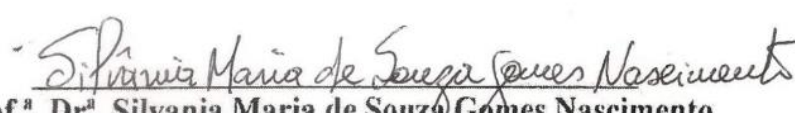
Prof. Dr. Walter Esfrain Pereira  
Examinador - PPGA/CCA/UFPB



Prof. Dr. Evandro Franklin de Mesquita  
Examinador - CCHA/UEPB



Prof. Dr. Alvaro Carlos Gonçalves Neto  
Examinador - PPGCAG/CCHSA/UFPB



Prof.ª. Dr.ª. Silvania Maria de Souza Gomes Nascimento  
Examinadora - PPGCAG/CCHSA/UFPB

**AREIA - PB - BRASIL**

**FEVEREIRO – 2019**

“Ciência humana de maneira nenhuma nega a existência de Deus. Quando considero quantas e quão maravilhosas coisas o homem compreende, pesquisa e consegue realizar, então reconheço claramente que o espírito humano é obra de Deus, e a mais notável.”

Galilei Galilei (1564 á 1642)

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, JOSÉ SEBASTIÃO DE MELO e MARIA EUNICE ALVES, por me darem a oportunidade nos meus estudos com minhas decisões durante seus ensinamentos e ajudando durante a realização de meus sonhos na vida profissional durante o cotidiano.

As minhas irmãs, Célia Alves de Melo, Lucineide Alves de Melo, Lucimar Alves de Melo por dar bons conselhos e forças para seguir em frente e nunca desistir dos obstáculos da vida, sempre insistindo na continuidade de meus estudos e a querida irmã Luciana Alves de Melo (*in memoriam*).

Aos meus irmãos, Urandy Alves de Melo, Adauto Alves de Melo, Josimar Alves de Melo, Francisco Alves de Melo e Antônio Alves de Melo por dar bons conselhos e forças para seguir em frente e nunca desistir dos obstáculos da vida, sempre insistindo na continuidade de meus estudos.

A minha querida esposa, MARIA DO SOCORRO SOUSA, pelo amor, carinho, respeito, incentivo, compreensão, e por estar ao meu lado em todos os momentos difíceis, ao dar bons conselhos, força e coragem diante das dificuldades.

A minha querida avó MARIA ALVES DOS SANTOS (*in memoriam*), ao dar bons conselhos durante os ensinamentos de vida sempre apoiando nos momentos difíceis da minha vida.

Ao meu querido tio FRANCISCO ADAUTO (*in memoriam*), por dar bons conselhos de amigo e incentivando nos momentos difíceis de minha vida acadêmica.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS, criador do universo, por ter me dado o dom da existência sendo importante em minhas conquistas com fé, determinação e persistência realizando todos os meus sonhos e objetivos durante a vida cotidiana.

Aos meus pais, JOSÉ SEBASTIÃO DE MELO e MARIA EUNICE ALVES, por serem exemplos de caráter, honestidade, amor e humildade.

A minha esposa, MARIA DO SOCORRO SOUSA e meus sobrinhos Thainan Melo, Josemar Melo Almeida, Alessandro, Ítalo, Artur Melo e Davi (príncipe da família) e as queridas sobrinhas Thaisa Melo, Fernanda Melo, Luiza Melo, Lorena Melo e Analice Melo, pelo amor, carinho, dedicação, incentivo, compreensão e ensinamentos. Sendo importante e que contribuíram em meu crescimento humanístico e espiritual.

A minhas irmãs, Maria Célia Alves de Melo, Lucineide Alves de Melo, Lucimar Alves de Melo por dar bons conselhos e forças para seguir em frente e nunca desistir dos obstáculos da vida, sempre insistindo na continuidade de meus estudos e a querida irmã Luciana Alves de Melo (*in memoriam*), e aos meus irmãos Urandy Alves de Melo, Adauto Alves de Melo, Josimar Alves de Melo, Francisco Alves de Melo e Antônio Alves de Melo, pelo amor, carinho, incentivo e por acreditarem em minha capacidade.

Aos meus avós maternos ADAUTO LOURENÇO DE ANDRADE e MARIA ALVES DOS SANTOS, e aos paternos SEBASTIÃO MELO (*in memoriam*) e VIRGINIA MARIA DA CONCEIÇÃO (*in memoriam*).

A meus tios (as) e primos (as), pelo amor, carinho, apoio e incentivo. Minhas cunhadas, IRANEIDE e IVANILDA, pela amizade e carinho e meu cunhado EVANALDO, excelente amigo simples e humilde.

Ao meu orientador, Prof. Dr. THIAGO JARDELINO DIAS, pelo tempo dedicado à minha orientação, amizade, paciência, respeito, conselhos e incentivos.

Aos colaboradores de minha pesquisa: Anderson Carlos de Melo Gonçalves e Toshik Iarley da Silva, pelas boas risadas, convivência, amizade, pelos momentos de alegria que passei com vocês dois, tenho a imensa satisfação em dizer que vou levá-los em meu coração por toda a vida e enorme amizade sem fim.

À equipe de pesquisa “Jardelindos”, Anderson Carlos de Melo Gonçalves, Toshik Iarley da Silva, Joana Gomes de Moura, Leonardo Vieira de Sousa, Ana Gabriela Sousa Basílio, Ygor Henrique Leal, Danrlei Varela Ribeiro, Lunara Alves, Paloma e Andressa

pelos momentos de alegria que passamos juntos no desenvolvimento das pesquisas de nossa equipe, vou levá-los em meu coração por toda a minha vida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal da Paraíba, pela oportunidade de realização do curso e por ter me proporcionado os conhecimentos necessários à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

A todos os colegas da turma 2016.1 do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, agradeço por todos os momentos de convivência e pelas superações que passamos juntos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de Doutorado.

Ao Centro de Ciências Agrárias (CCA), Campus II da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Areia, Paraíba, em especial aos professores e funcionários que tive a oportunidade de conviver.

Ao Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias (CCHSA), Campus III da Universidade Federal da Paraíba, Bananeiras, Paraíba, pela disponibilização dos Laboratórios de Tecnologia e Fisiologia Pós-colheita e de Solos, nas pessoas de Oziel Nunes da Cruz e Everton de Oliveira Teixeira, respectivamente, por ceder o espaço dos laboratórios, auxiliar nos trabalhos e pela convivência harmoniosa e simples humildade.

Aos funcionários do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, em especial, ao assessor administrativo Edilson Diniz, o eletricitista Tangerina e o motorista Gabriel, os quais quando necessário, não mediram esforços para me ajudar.

A todos os docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), pelos conhecimentos transmitidos.

À banca examinadora, composta pelos Professores doutores EVANDRO FRANKLIN DE MESQUITA, WALTER ESFRAIN PEREIRA, ÁLVARO CARLOS GONÇALVES NETO e SILVANIA MARIA DE SOUZA GOMES NASCIMENTO pelas valiosas colaborações neste trabalho.

A todas as pessoas que contribuíram de forma direta ou indireta para realização deste trabalho e em minha formação acadêmica. Aos meus grandes amigos, Toshik, Anderson, Mário, Altamiro, Robério, Rommel, José Thiago, Jackson, Hélio Andrade, Leonardo Dantas e as amigas Danila Lima, Lunara Alves, Joana Moura, Fátima, Rosimeire, Rayane Amaral e todos os outros grandes amigos que a vida me proporcionou, obrigado por sempre me darem a confiança de vocês.



MELO FILHO, J. S. **Crescimento, produção, trocas gasosas e qualidade de *Beta vulgaris* L. com águas salinas e silício via foliar e solo.** Areia, Paraíba. Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, fevereiro de 2019. 84 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Orientador: Prof. Dr. Thiago Jardelino Dias.

## RESUMO

A beterraba é uma das hortaliças mais ricas em nutrientes (compostos bioativos, ácido fólico e potássio). As plantas não toleram altos teores de sais, contudo, atenuadores de estresse salino apresenta estratégia para possibilitar o uso de águas salinas na região semiárida. Objetivou-se avaliar com esta pesquisa o crescimento, produção, trocas gasosas, pós-colheita de *Beta vulgaris* L. irrigada com águas salinas e silício. O experimento foi conduzido no delineamento de blocos casualizados referente a cinco condutividade elétrica da água de irrigação (CEa): (0,5; 1,3; 3,25; 5,2 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>) e cinco doses de silício (0,00; 2,64; 9,08; 15,52 e 18,16 mL L<sup>-1</sup>), combinadas segundo a matriz experimental Composto Central de Box, com quatro repetições e três plantas por parcela. Foram avaliados o crescimento, trocas gasosas, clorofilas, fluorescências, produção e pós-colheita. Os dados foram submetidos a análise de variância, de regressão e as avaliações repetidas no tempo por modelo misto. A aplicação de silício via foliar não influencia no cultivo de beterraba, nem atenuou a salinidade, mas as plantas que receberam aplicação apresentaram maiores teores de pigmentos fotossintéticos e qualidade pós colheita. O aumento da CEa da água de irrigação reduz o crescimento e produção de beterraba, mas os índices de clorofila, produção de biomassa e fluorescência não foram influenciados pela salinidade. A CEa da água de irrigação acima de 0,50 dS m<sup>-1</sup> é suficiente para afetar negativamente o cultivo de beterraba e a dose de 9,08 ml L<sup>-1</sup> de silício é a mais recomendada para aplicação. A irrigação com água de 6,0 dS m<sup>-1</sup> promove melhor qualidade do tubérculo da beterraba. As adubações com silício, aplicada via solo e foliar, melhoraram a qualidade pós-colheita da beterraba. A irrigação com águas salinas inibiu as trocas gasosas das plantas de beterraba.

**Palavras-chave:** *Beta vulgaris* L., silicato de potássio, estresse salino, fotossíntese.

MELO FILHO, J. S. **Growth, production, gas exchange and quality of *Beta vulgaris* L. with salt and silicon water via leaf and soil.** Areia, Paraíba. Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, february 2019. 84 p. Thesis (Doctor in Agronomy). Postgraduate Program in Agronomy. Supervisor: Dr. Thiago Jardelino Dias.

### ABSTRACT

Beet is one of the most nutrient rich vegetables (bioactive compounds, folic acid and potassium). There are few studies of this culture under conditions of irrigation with saline waters. Irrigation in agriculture is a viable alternative due to water scarcity and natural resources. The plants do not tolerate high levels of salts, however, salt stress attenuators presents a strategy to allow the use of saline waters in the semi-arid region. In regions with low rainfall rates, saline stress promotes physiological changes in plants, affecting crop productivity. The objective of this work was to evaluate the development, production, gas exchanges, post-harvest of beta vulgaris L. irrigated with salt water and silicon. The research was conducted in a randomized block design, in a 5 x 5 factorial, referring to five levels of electrical conductivity of irrigation water (CEa): (0.5, 1.3, 3.25, 5.2 and 6, 0 dS m<sup>-1</sup>), and five doses of silicon (0.00, 2.64, 9.08, 15.52 and 18.16 mL L<sup>-1</sup>), combined according to the Experimental Central Composite Box matrix, with four replicates and three plants per plot. Growth, gas exchange, chlorophyll, fluorescence, production and post-harvest analyzes were performed. The data were submitted to analysis of variance, regression and the repeated evaluations in time by mixed model. Leaf silicon application did not influence beet cultivation, nor did it attenuate the salinity, but the plants that received application showed higher photosynthetic pigment contents. Increasing ECa of irrigation water reduced beet growth and yield, but chlorophyll, biomass and fluorescence indices were not influenced by salinity. The CEa of irrigation water above 0.50 dS m<sup>-1</sup> is sufficient to adversely affect the beet crop and the dose of 9.08 ml L<sup>-1</sup> of silicon is the most recommended for application. Irrigation with water of 6.0 dS m<sup>-1</sup> promotes better tuber beet quality. Pre-harvest fertilizations with silicon, applied via soil or foliar, improved the post-harvest quality of the beet. Irrigation with salt water inhibited the gas exchange of beet plants.

**Palavras-chave:** *vulgaris* L., potassium silicate, saline stress, photosynthesis.

## LISTA DE FIGURAS

### **Artigo I: Crescimento, índices de clorofila e produtividade da beterraba sob estresse salino e adubação silicatada**

**Figura 1.** Umidade relativa do ar e temperatura no período de condução do experimento. Temperaturas do ar máximas (T<sub>máx</sub>), médias (T<sub>med</sub>) e mínimas (T<sub>min</sub>) em °C; umidade relativa do ar máximas (UR<sub>máx</sub>), médias (UR<sub>med</sub>) e mínimas (UR<sub>min</sub>) em % .....25

**Figura 2.** Altura e área foliar de plantas de beterraba em diferentes condutividades elétricas da água de irrigação aos 15, 30, 45 e 60 dias após emergência. ....27

**Figura 3.** Comprimento e largura de folhas de plantas de beterraba em diferentes condutividades elétricas da água de irrigação aos 15, 30, 45 e 60 dias após emergência.....28

**Figura 4.** Diâmetro de bulbos de folhas de plantas de beterraba em diferentes condutividades elétricas da água de irrigação aos 15, 30, 45 e 60 dias após emergência.....29

**Figura 5.** Massa seca da raiz (A), massa fresca do bulbo (B) e diâmetro longitudinal do bulbo (C) de plantas de beterraba em diferentes condutividades elétricas da água de irrigação aos 15, 30, 45 e 60 dias após emergência.....30

### **Artigo II: Águas salinas e aplicação de silício via solo no crescimento, pigmentos cloroplastídicos, fluorescência da clorofila em beterraba**

**Figura 1.** Umidade relativa do ar e temperatura no período de condução do experimento. Temperaturas do ar máximas (T<sub>máx</sub>), médias (T<sub>med</sub>) e mínimas (T<sub>min</sub>) em °C; umidade relativa do ar máximas (UR<sub>máx</sub>), médias (UR<sub>med</sub>) e mínimas (UR<sub>min</sub>) em % .....42

**Figura 2.** Efeito de níveis de salinidade sobre a altura da planta (A), área foliar (B) e diâmetro do bulbo (C), diâmetro longitudinal do bulbo (D) e massa fresca do bulbo (E) de plantas de beterraba.....45

**Figura 3.** Efeito de doses de silício sobre a área foliar (A), diâmetro longitudinal dos bulbos (B), massa fresca do bulbo (C), diâmetro do bulbo (D), fluorescência inicial e fluorescência máxima (E) de plantas de beterraba..... 48

### **Artigo III. Qualidade pós-colheita de beterraba na aplicação de silício e irrigada com diferentes águas salinas**

<b>Figura 1.</b> Umidade relativa do ar e temperatura no período de condução dos experimentos, experimento 1 (A) e experimento 2 (A). Temperaturas do ar máximas (Tmáx), médias (Tmed) e mínimas (Tmin) em °C; umidade relativa do ar máximas (URmáx), médias (URmed) e mínimas (URmin) em %.....	60
<b>Figura 2.</b> Efeito da condutividade elétrica da água de irrigação (A) e da condutividade elétrica na água de irrigação e das doses de silício aplicadas via solo (B) na matéria seca do bulbo de beterraba.....	62
<b>Figura 3.</b> Efeito de doses de silício via foliar no pH da polpa da beterraba.....	62
<b>Figura 4.</b> Efeito da condutividade elétrica da água de irrigação e doses de silício aplicados via foliar (A) e via solo (B) na acidez titulável de beterraba.....	63
<b>Figura 5.</b> Efeito da condutividade elétrica na água de irrigação (A) e aplicação de silício via solo (B) nos teores de sólidos solúveis da polpa da beterraba.....	64
<b>Artigo IV: Trocas gasosas de plantas de beterraba irrigadas com águas salinas e aplicação de silício</b>	

<b>Figura 1.</b> Umidade relativa do ar e temperatura no período de condução do experimento. Temperaturas do ar máximas (Tmáx), médias (Tmed) e mínimas (Tmin) em °C; umidade relativa do ar máximas (URmáx), médias (URmed) e mínimas (URmin) em %.....	74
<b>Figura 2.</b> Condutância estomática (gs) (A), fotossíntese líquida (A) (B), transpiração (E) (C) e concentração interna de carbono (Ci) (D) de plantas de beterraba aos 30 e 60 dias após o início da irrigação com água salina (DAI).....	76
<b>Figura 3.</b> Condutância estomática (gs) (A), fotossíntese líquida (A) (B), transpiração (E) (C) e concentração interna de carbono (Ci) (D) de plantas de beterraba aos 30 e 60 dias após a aplicação de silício. ....	78
<b>Figura 4.</b> Eficiência intrínseca de carboxilação (EiC) (A) e eficiência do uso da água (EUA) (B) de plantas de beterraba aos 30 e 60 dias após o início da irrigação com água salina (DAI).....	79
<b>Figura 5.</b> Eficiência intrínseca de carboxilação (EiC) (A), eficiência do uso da água (EUA) (B) e eficiência instantânea do uso da água (EiUA) (C) de plantas de beterraba submetidas à aplicação de silício (Si) aos 30 e 60 dias após o início da irrigação com água salina (DAI).....	79

## LISTA DE TABELAS

### **Artigo I: Crescimento, índices de clorofila e produtividade da beterraba sob estresse salino e adubação silicatada**

<b>Tabela 1.</b> Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento .....	23
<b>Tabela 2.</b> Características químicas das águas utilizadas no experimento .....	24
<b>Tabela 3.</b> Teores de clorofila <i>a</i> (Cl <i>a</i> ), clorofila <i>b</i> (Cl <i>b</i> ), clorofila total (Cl total), número de folhas (Nf), massa seca da folha (Msf) e diâmetro transversal do bulbo (Dtb) de plantas de beterraba em função da irrigação com águas salinas.....	31
<b>Tabela 4.</b> Índice de clorofila <i>a</i> (Cl <i>a</i> ), clorofila <i>b</i> (Cl <i>b</i> ), clorofila total (Cl total), número de folhas (Nf), massa seca da folha (Msf), massa fresca do bulbo (Mfb), massa seca da raiz (Msr), diâmetro transversal do bulbo (Dtb) e diâmetro longitudinal do bulbo (Dlb) de plantas de beterraba sob aplicação foliar de silício. ....	32

### **Artigo II: Águas salinas e aplicação de silício via solo no crescimento, pigmentos cloroplastídicos, fluorescência da clorofila em beterraba**

<b>Tabela 1.</b> Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento.....	40
<b>Tabela 2.</b> Características químicas das águas utilizadas no experimento.....	41
<b>Tabela 3.</b> Médias referente à largura da folha (Lf), comprimento da folha (Lf), área foliar (Af), número de folhas (Nf), teores de clorofila A (Cl <i>a</i> ), clorofila B (Cl <i>b</i> ), clorofila total (Cl total), relação clorofila <i>a/b</i> (Cl <i>a/b</i> ), massa fresca da folha (Mff), massa seca da folha (Msf), massa seca da raiz (Msr), diâmetro transversal do bulbo (Dt), fluorescência inicial ( $F_o$ ), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv) e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) de plantas de beterraba em função da irrigação com águas salinas.....	47
<b>Tabela 4.</b> Médias referente à altura da planta (alt), largura da folha (Lf), comprimento da folha (Lf), número de folhas (Nf), teores de clorofila A (Cl <i>a</i> ), clorofila B (Cl <i>b</i> ), clorofila total (Cl total), relação clorofila <i>a/b</i> (Cl <i>a/b</i> ), fluorescência variável (Fv), eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm), massa fresca da folha (Mff), massa seca da folha (Msf), massa seca da folha (Msf), massa seca da raiz	

(Msr) e diâmetro transversal do bulbo (Dt) de plantas de beterraba sob aplicação de silício via solo.....	50
---	----

### **Artigo III: Qualidade pós-colheita de beterraba na aplicação de silício e irrigada com diferentes águas salinas**

<b>Tabela 1.</b> Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento.....	58
---	----

<b>Tabela 2.</b> Características químicas das águas utilizadas no experimento.....	59
--	----

### **Artigo IV: Trocas gasosas de plantas de beterraba irrigadas com águas salinas e aplicação de silício**

<b>Tabela 1.</b> Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento.....	72
---	----

<b>Tabela 2.</b> Características químicas das águas utilizadas no experimento.....	73
--	----

## SUMÁRIO

<b>Crescimento, <i>índices de clorofila</i> e produtividade da beterraba sob estresse salino e adubação silicatada .....</b>	<b>17</b>
Resumo .....	18
Abstract.....	19
Introdução.....	20
Material e Métodos .....	22
Resultados e Discussão.....	26
Conclusão .....	27
Referências .....	33
<b>Águas salinas e aplicação de silício via solo no crescimento, pigmentos cloroplastídicos fluorescência da clorofila em beterraba .....</b>	<b>36</b>
Resumo .....	37
Abstract.....	38
Introdução.....	39
Material e Métodos .....	40
Resultados e Discussão.....	43
Conclusão .....	51
Referências .....	51
<b>Qualidade pós-colheita de beterraba na aplicação de silício e irrigada com diferentes águas salinas.....</b>	<b>54</b>
Resumo .....	55
Abstract.....	56
Introdução.....	57
Material e Métodos .....	58
Resultados e Discussão.....	63
Conclusão .....	66
Referências .....	66
<b>Trocas gasosas de plantas de beterraba irrigadas com águas salinas e aplicação de silício .....</b>	<b>69</b>
Resumo .....	70
Abstract.....	71

Introdução .....	72
Material e Métodos .....	73
Resultados e Discussão.....	76
Conclusão .....	81
Referências .....	81



**Artigo I:**

**Crescimento, índices de clorofila e produtividade da beterraba sob estresse salino e  
adubação silicatada**

## **Crescimento, índices de clorofila e produtividade da beterraba sob estresse salino e adubação silicatada**

### **RESUMO**

A beterraba é uma das hortaliças mais cultivada no Brasil, rica em vitaminas, fibras e agentes anticancerígenos. A restrição hídrica é determinante em seu crescimento, havendo necessidade de práticas de uso eficiente da água. Objetivou-se avaliar o efeito da irrigação com águas salinas e aplicação de silício no crescimento, pigmentos cloroplastídicos e produção de beterraba. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados referente a cinco condutividade elétrica da água de irrigação (CEa): (0,5; 1,3; 3,25; 5,2 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>) e cinco doses de silício (0,00; 2,64; 9,08; 15,52 e 18,16 mL L<sup>-1</sup>), combinadas segundo a matriz experimental Composto Central de Box, totalizando 10 tratamentos, com quatro repetições e três plantas por parcela. O crescimento e os teores de pigmentos fotossintéticos de beterraba são afetados negativamente pela salinidade na água de irrigação. A aplicação de silício via foliar não influencia, nem atenuou a salinidade, mas as plantas que receberam aplicação apresentaram maiores teores de pigmentos fotossintéticos. A condutividade elétrica na água de irrigação acima de 0,50 dS m<sup>-1</sup> é suficiente para reduzir o desenvolvimento da beterraba.

**Palavras-chave:** *Beta vulgaris* L., salinidade, adubação silicatada, clorofila.

## ABSTRACT

The use of saline water in agriculture is a viable alternative given the scarcity of natural resources. However, cultures present different behaviors. The aim was to evaluate the effects of irrigation with saline water and silicon application on growth, chloroplastid pigments and beet production. The experiment was conducted in a randomized block design in a 5 x 5 factorial, referring to five levels of electrical conductivity of irrigation water (ECw): (0.5; 1.3; 3.25; 5.2 and 6.0 dS m<sup>-1</sup>) and five silicon doses (0.00; 2.64; 9.08; 15.52 and 18.16 mL L<sup>-1</sup>) combined according to the experimental matrix Central of Box Composite totaling 10 treatments with four repetitions and three plants per plot. Growth, development and the beet photosynthetic pigments contents are negatively affected by salinity irrigation water. The silicon foliar application causes no effect on beet crops, neither had salinity attenuated, but the plants that received application presented higher levels of photosynthetic pigments. The electrical conductivity in the irrigation water above 0.5 dS m<sup>-1</sup> is enough to reduce beet growing and yielding.

**Key words:** *Beta vulgaris* L.; salinity; silicon fertilization; chlorophyll.

## INTRODUÇÃO

Uma das hortaliças mais cultivadas no Brasil é a beterraba (*Beta vulgaris* L.), apresentando muitas variedades, entretanto, as cultivares de mesa são as mais expressivas economicamente. No Brasil, nos últimos anos a beterraba apresentou crescimento na demanda, especialmente, no consumo *in natura*, mas também cresceu a procura pela indústria através do beneficiamento em conservas e alimentos infantis, como corantes em sopas desidratadas, iogurtes e “catchups” (Paiva et al., 2017).

O cultivo de hortaliças na região semiárida nordestina depende consideravelmente do uso da irrigação, pois a precipitação pluviométrica não supre a necessidade hídrica das culturas durante todo o ano. Nesta região, um dos principais problemas hídricos, é a qualidade da água, fazendo com que a maioria dos produtores utilizem água de baixa qualidade para irrigação. Uma das alternativas é a utilização de águas salinas (Sousa et al., 2018).

Em virtude da irregularidade pluviométrica no nordeste brasileiro, há ainda altas temperaturas e taxas de evaporação. Dessa forma, a utilização da irrigação é obrigatória. As águas disponíveis nesta região normalmente apresentam sais que afetam negativamente o crescimento e o rendimento das culturas (FERREIRA et al., 2016).

Em excesso, a água salina causa estresse osmótico nas plantas, reduzindo a disponibilidade hídrica, aumentando o fechamento estomático e, em consequência, reduzem a captura de CO<sub>2</sub>, danificando o aparato fotossintético (ALVES et al., 2011; SÁ et al., 2015). Com o estresse salino, as plantas apresentam toxicidade iônica, o que leva à desorganização da membrana, produção ou espécies reativas de oxigênio e desequilíbrio nutricional (AREF & RAD, 2012; MGUIS et al., 2012).

Nos últimos anos, muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o intuito de se obter alternativas de reduzir os efeitos deletérios de estresse abióticos sobre as plantas, uma delas é a utilização de silício (SAHEBI et al., 2016). Sabe-se que o Si é considerado um elemento benéfico para as plantas (SHI et al., 2013), que pode atenuar os efeitos de estresses abióticos, como salinidade e seca (ASHRAF et al., 2010; PARVEEN & ASHRAF, 2010; ALI et al., 2012; ZHU & GONG, 2014).

A aplicação de silício aumenta o crescimento de muitas espécies de plantas (canola, soja, trigo, sorgo, tomate e milho) submetidas a condições de estresse salino, proporcionando incremento da área foliar, teor de clorofila, melhora a estrutura dos cloroplastos, e consequentemente ocasionou maior atividade fotossintética (HASHEMI et al., 2010; LEE et

al., 2010; TAHIR et al., 2012; BAE et al., 2012; YIN et al., 2013; HAGHIGHI & PESSARAKLI, 2013; ROHANIPOOR et al., 2013).

O uso de possíveis atenuadores do estresse salinos, especialmente em beterraba, é necessário mais pesquisas para avaliar o potencial do silício como estratégia para reduzir os efeitos deletérios das águas salinas no cultivo de hortaliças. Neste sentido, objetivou-se avaliar a ação da adubação foliar com silício na atenuação dos efeitos do estresse salino da irrigação com águas de diferentes condutividades, nos índices de clorofila e nos fatores de produção da cultura da beterraba.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de agosto a outubro de 2017 em casa de vegetação localizada no setor de Fruticultura, pertencente à Universidade Federal da Paraíba no município de Areia-PB, situada nas coordenadas geográficas 6°51'47" e 7°02'04" latitude Sul e longitude Oeste 35°34'13" e 35°48'28" do meridiano de Greenwich.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados referente a cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEa): (0,5; 1,3; 3,25; 5,2 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>) e cinco doses de silício (0,00; 2,64; 9,08; 15,52 e 18,16 mL L<sup>-1</sup>) segundo a matriz experimental Composto Central de Box (Mateus et al., 2001), totalizando 10 tratamentos, com quatro repetições e três plantas por parcela.

As sementes utilizadas foram de beterraba cultivar Maravilha Top Tall Early Wonder, produzidas em bandejas e feito o transplante aos 5 dias, sendo uma planta em cada vaso e cada parcela experimental consistiu de três vasos cônicos de 22 cm de diâmetro superior, 16 cm de diâmetro inferior e 18 cm de altura, com capacidade volume 8 dm<sup>3</sup>, e com furos circulares de 1 cm de diâmetro em sua face inferior, com a finalidade de permitir melhor aeração das raízes e percolação do excesso de água.

Os vasos foram preenchidos com solo de horizonte A, coletado na profundidade de 0-20 cm, classificado como Planossolo Háptico Eutrófico êndico (Embrapa 2014), as características químicas e físicas (Tabela 1) foram analisadas de acordo com a metodologia da EMBRAPA (2009) e da EMBRAPA (2014), respectivamente. O solo foi previamente secado ao ar e devidamente homogeneizado, sendo colocado nos vasos acomodados previamente com tela (tecido tule) e 200 g de brita, para evitar a saída de solo dos vasos por seus orifícios inferiores.

**Tabela 1.** Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento.

Atributos químicos		Atributos físicos	
pH	6,26	Ds ( $\text{g cm}^{-3}$ )	1,38
P ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	11,35	Dp ( $\text{g cm}^{-3}$ )	2,67
K <sup>+</sup> ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	40,00	PT ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )	0,48
Na <sup>+</sup> ( $\text{cmol dm}^{-3}$ )	0,22	CC ( $\text{g g}^{-1}$ )	78,00
H+Al ( $\text{cmol dm}^{-3}$ )	1,82	PMP ( $\text{g g}^{-1}$ )	43,00
Al <sup>3+</sup> ( $\text{cmol dm}^{-3}$ )	0,00	Areia ( $\text{g kg}^{-1}$ )	756,90
Ca <sup>2+</sup> ( $\text{cmol dm}^{-3}$ )	3,00	Silte ( $\text{g kg}^{-1}$ )	59,10
Mg ( $\text{cmol dm}^{-3}$ )	1,90	Argila ( $\text{g kg}^{-1}$ )	184,00
SB ( $\text{cmol dm}^{-3}$ )	5,22	-	-
CTC ( $\text{cmol dm}^{-3}$ )	7,03	-	-
V (%)	74,34	-	-
M (%)	0,00	-	-
MO ( $\text{g Kg}^{-1}$ )	17,53	Classificação textural	Franco arenosa

SB = ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ); CTC = SB + ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ); V = ( $100 \times \text{SB}/\text{CTC}$ ); MO =

matéria orgânica. Ds = densidade do solo; Dp = Densidade de partícula; Pt = Porosidade total;  $(1 - (\text{Ds}/\text{Dp}) \times 100)$  CC = Umidade volumétrica na capacidade de campo, - 0,033 Mpa; PMP = Umidade volumétrica no ponto de murcha permanente - 1,5 Mpa.

As plantas foram irrigadas diariamente elevando-se, no início, a umidade do solo em torno de 70% da capacidade de campo (CC). As diferentes CEa foram obtidas pela utilização dos sais de NaCl,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , na proporção de 7:2:1 (MEDEIROS, 1992) conforme características apresentadas na Tabela 2. A irrigação com as fontes de água de diferentes salinidades foi iniciada 10 dias após o transplântio. No primeiro DAT, a lâmina foi calculada pela equação proposta por Mantovani et al. (2009). A irrigação total necessária, em mm, foi calculada pela equação de Bernardo et al. (2008), considerando 100% de eficiência de aplicação da irrigação.

**Tabela 2.** Características químicas das águas utilizadas no experimento

Atributos	Condutividades da água de aplicação (dS m <sup>-1</sup> )				
	0,50	1,30	3,25	5,20	6,00
	Valores				
pH	7,00	7,50	7,40	7,30	7,40
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	3,22	3,70	3,67	3,35	3,90
Mg <sup>2+</sup>	1,33	1,78	1,93	2,03	2,98
Na <sup>+</sup>	1,70	5,92	12,57	20,5	24,20
K <sup>+</sup>	0,20	0,21	0,20	0,20	0,21
Ca <sup>2+</sup>	0,73	1,58	1,78	1,88	2,53
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,75	3,50	4,00	4,25	4,25
Cl <sup>-</sup>	3,40	10,90	30,40	48,90	58,15
RAS (mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	1,28	1,87	2,60	3,23	2,96
Classificação	C2S1	C3S3	C4S4	C4S4	C4S4

CEai = Condutividade elétrica a 25°C; RAS = Razão de adsorção de sódio  $[Na^+/(Ca^{2+}+Mg^{2+}/2)]^{1/2}$ ; CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> = Ausente. Classificação da água conforme Richards (1954).

O silício foi aplicado na forma de silicato de potássio (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) líquido, com 12% de Silício e 15% de K<sub>2</sub>O. As doses de Silício dos tratamentos foram aplicadas através de um pulverizador manual. A aplicação foi feita semanalmente, totalizando 7 aplicações durante o crescimento e produção.

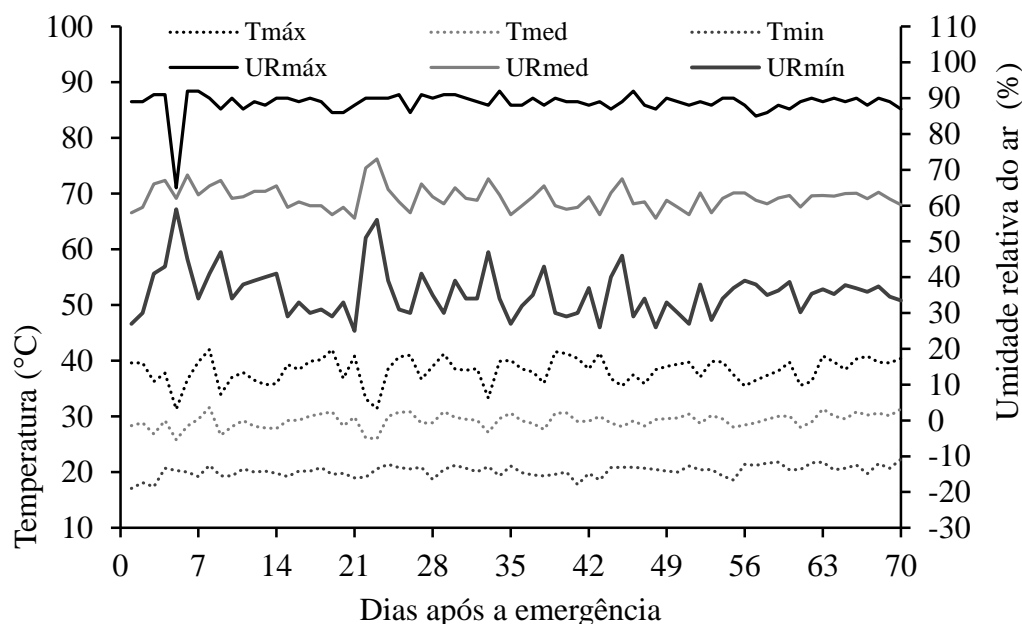
A dose de silício foi 77 ml L<sup>-1</sup> que equivale a 0,77 ml por vasos, dividido por 7 aplicações de (Si) vezes o total de vasos distribuídos aos tratamentos e diluídas em água destilada, sendo posteriormente 50 ml dessa solução aplicada via foliar em beterrabas.

As dosagens com silício via foliar na cultura de beterraba foram as seguintes: D0 = 0,00 sem silício, sendo 50 ml; D1 = 0,77 ml por vasos dividido por 7 aplicações de (Si) equivale a (0,11 ml\vasos x 24 vasos) igual a 2,64 ml de silício; D2 = 2,648 ml por vasos dividido por 7 aplicações de (Si) equivale a (0,378 ml\vasos x 24 vasos) igual a 9,08 ml de silício; D3 = 4,526 ml por vasos dividido por 7 aplicações de (Si) equivale a (0,646 ml\vasos x 24 vasos) igual a 15,52 ml de silício e a D4 = 5,296 ml por vasos dividido por 7 aplicações de (Si) equivale a (0,756 ml\vasos x 24 vasos) igual a 18,16 ml de silício.

Durante a condução do experimento foram registrados diariamente os dados climáticos (Figura 1) com termohigrômetro digital HT-600 Instrutherm<sup>®</sup>, instalado no interior da área experimental, à altura das plantas. Os valores climáticos médios de temperatura foram



próximos da faixa considerada ideal (15 a 25°C) durante o ciclo da cultura, segundo Filgueira (2008).



**Figura 1.** Umidade relativa do ar e temperatura no período de condução do experimento. Temperaturas do ar máximas (Tmáx), médias (Tmed) e mínimas (Tmin) em °C; umidade relativa do ar máximas (URmáx), médias (URmed) e mínimas (URmin) em %.

A adubação de plantio e cobertura foi feita com 40, 180 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de NPK, respectivamente, com ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, de acordo com a análise química do solo e recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (IPA 2008). Cálculo de adubação para a cultura beterraba em fundação com um volume de solo 960, com respectivos valores para a Ureia 0,14 g\L de solo com 44% de nitrogênio que corresponde a 305,45 g de N; o superfosfato simples 0,47 g\L de solo com 18% de superfosfato simples que equivale a 2.506,66 g de Ss; já o cloreto de potássio 0,3 g\L de solo com 58% de K<sub>2</sub>O equivalente a 496,55 g de kcl. Durante a condução do experimento foi realizado o controle de pragas e plantas daninhas, a partir da catação manual e arranque das plantas invasoras.

A altura da planta foi mensurada com uma régua graduada em cm, a área foliar foi determinada de maior comprimento (C) e largura (L), e aplicando-se na fórmula  $AF = C * L * f$ , sendo AF = área foliar em m<sup>2</sup>; C = comprimento da folha; L = largura da folha, com unidades metro e f = fator de correção indicado para beterraba (0,692), conforme Simões et al. (2016)),

número de folhas, comprimento e largura da folha (com auxílio de uma régua graduada) aos 15, 30, 45 e 60 dias após a emergência. A colheita foi realizada quando o diâmetro da beterraba atingiu o padrão comercial mínimo de 5 cm (Tivelli et al. 2011), alcançado aos 70 DAE.

Ao final do experimento foram realizadas as medições de: diâmetro longitudinal e transversal do bulbo, massa fresca do bulbo, massa seca da folha, massa seca da raiz, índices foliares de clorofila *a*, *b* e total realizadas as 9h00 e 11h00 na parte mediana em todas as folhas das beterrabas utilizando-se clorofilômetro eletrônico portátil (ClorofiLog<sup>®</sup>, modelo CFL 1030, Falker).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão polinomial, e para as avaliações repetidas no tempo utilizou-se o modelo misto (MIXED), utilizando-se o pacote estatístico SAS<sup>®</sup> University (Cody, 2015).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As salinidades das águas de irrigação e as doses de silício influenciaram as variáveis analisadas. A interação entre as diferentes águas salinas e doses de silício influenciaram significativamente a altura da planta, área foliar, comprimento da folha, largura da folha, e diâmetro do bulbo, não sendo observado efeito significativo para as demais variáveis.

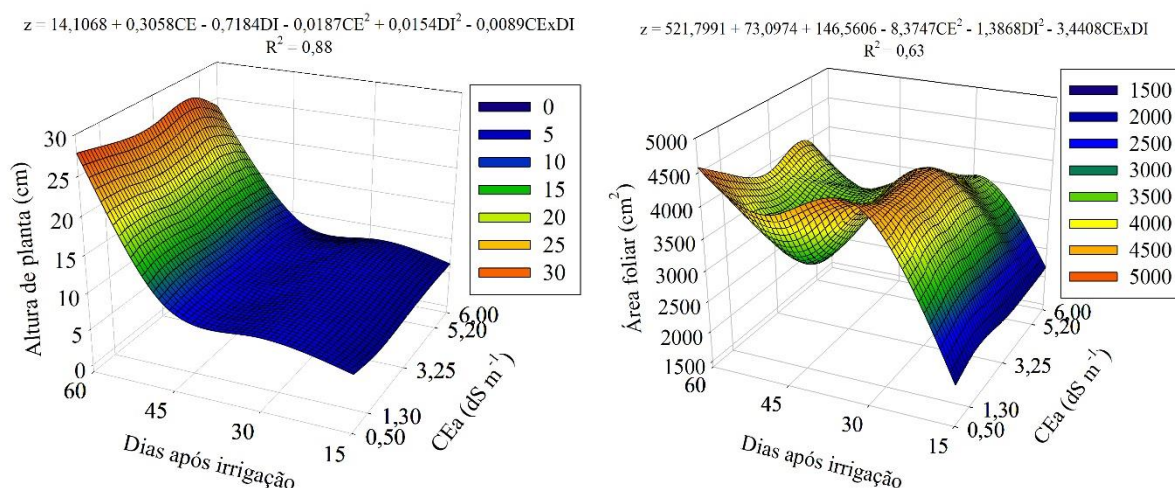
Houve decréscimos da altura da planta com o aumento da salinidade na água de irrigação nos períodos avaliados (Figura 2A), de forma que, a maior altura foi observada nas plantas de beterraba irrigadas com água de menor salinidade ( $0,50 \text{ dS m}^{-1}$ ), obtendo-se 35 cm aos 60 DAS. Isso pode ter sido ocasionado pela toxicidade causada pela excessiva absorção dos sais, principalmente íons como sódio ( $\text{Na}^+$ ) e cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) (Shahzad et al., 2012), que ao interagirem com os nutrientes presentes no solo resulta em desequilíbrios nutricionais nas plantas (Rahimi et al., 2012; Hasanuzzaman et al., 2013), interferindo no crescimento da beterraba.

Os valores observados são superiores aos obtidos por Santos et al. (2016), que ao estudarem o crescimento e fitomassa da beterraba sob irrigação suplementar com água de diferentes concentrações salinas obtiveram 12,8 cm de altura das plantas aos 27 dias após irrigação com água de  $3,11 \text{ dS m}^{-1}$ . No presente trabalho o máximo obtido em altura da planta foi de 35 cm aos 60 dias após emergência com irrigação com água de  $0,50 \text{ dS m}^{-1}$ .

A área foliar também apresentou redução nos períodos avaliados com o aumento da salinidade da água (Figura 2B), de forma que o incremento da CEa reduziu a área foliar das plantas de beterraba. O valor máximo em área foliar (6500 cm<sup>2</sup>) foi obtido nas plantas irrigadas com água de menor salinidade (0,50 dS m<sup>-1</sup>). Esse comportamento também foi observado por Santos et al. (2016), que verificaram decréscimo de 24%, quando se compara as plantas irrigadas com água de 1 e a 5 dS m<sup>-1</sup>, com resultados semelhantes aos dados obtidos no presente trabalho.

Em estudos com a cultura do rabanete, Oliveira et al. (2012) constataram que o maior valor de área foliar foi verificado nas plantas irrigadas com água de menor salinidade (2 dS m<sup>-1</sup>), obtendo-se 497,20 cm<sup>2</sup>, enquanto, que na salinidade de 10 dS m<sup>-1</sup> resultou inibição severa da área foliar, com 220 cm<sup>2</sup>, ou seja, redução de 55,75%, com valores semelhantes ao comportamento dos dados obtidos neste estudo.

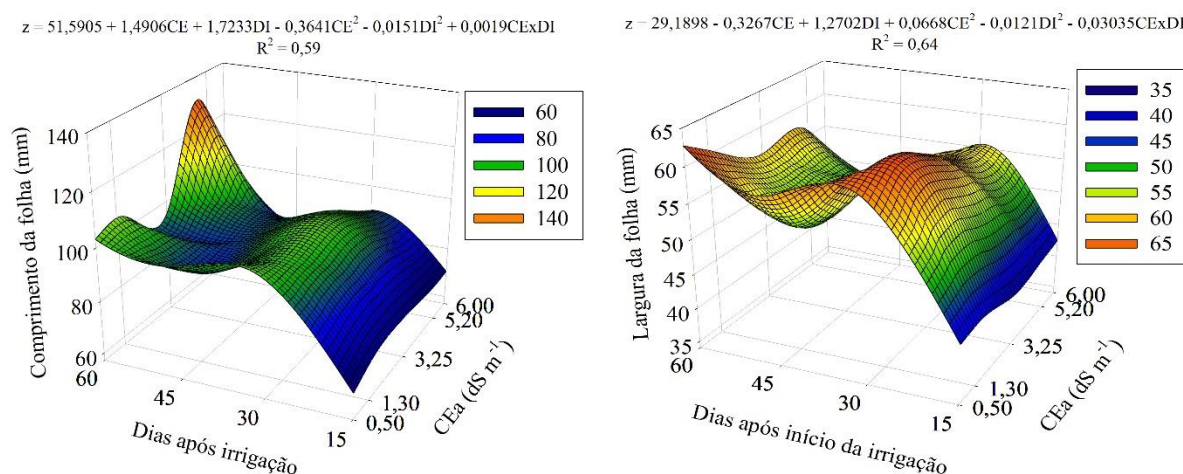
Um dos fatores que podem ter influenciado na redução da área foliar da beterraba foi o dano causado ao aparato fotossintético. A presença de elementos dos sais, absorvidos, distribuídos e acumulados na planta, pode ter alcançado teores tóxicos, que passaram a comprometer a produção de fotoassimilados orgânicos, resultando na inibição do crescimento das plantas (SANTOS et al., 2013). Com a redução da área foliar há menor perda de água e menor atividade fotossintética, contribuindo para a manutenção de um alto potencial hídrico na planta (NASCIMENTO et al., 2011), mas, neste caso, com inevitável redução no crescimento da beterraba.



**Figura 2:** Altura e área foliar de plantas de beterraba em diferentes condutividades elétricas da água de irrigação aos 15, 30, 45 e 60 dias após emergência.

Observou-se que o comprimento (Figura 3A) e a largura da folha (Figura 3B) das plantas de beterraba foi maior nas plantas irrigadas com CEa de  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ , correspondendo aos 60 DAE a 110 e 80 mm, respectivamente. Ao irrigar as plantas com águas de maiores salinidades houve decréscimos para essas variáveis nos períodos avaliados. O desempenho descrito já foi observado em diferentes culturas submetidas a condições de estresse salino, como beterraba (Santos et al., 2016), rabanete (Oliveira et al., 2012), milho (Moussa & Galad, 2015), alface (Alves et al., 2011) e girassol (Sá et al., 2015).

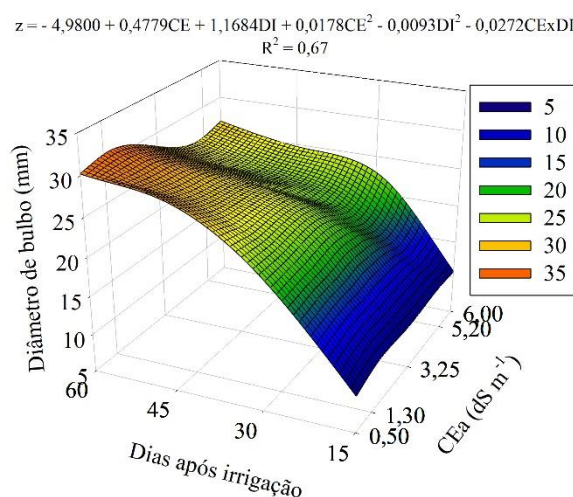
É possível que a redução no comprimento e largura da folha tenha ocorrido devido o decréscimo no potencial osmótico, que causa diminuição da absorção de água pelas plantas. Dessa forma, ao reduzirem a absorção de água, as plantas de beterraba podem ter comprometido os processos fisiológicos; assim, ocorrem mudanças morfofisiológicas, como a redução do comprimento e largura foliar, a fim de aumentar sua tolerância à salinidade. Além disso, ao reduzirem a área foliar e aumentarem o conteúdo total de solutos na folha, ocorre maior ajustamento osmótico das células, garantindo que às plantas aumentem a absorção de água e sobrevivam ao estresse salino (Tester & Davenport, 2003).



**Figura 3:** Comprimento e largura de folhas de plantas de beterraba em diferentes condutividades elétricas da água de irrigação aos 15, 30, 45 e 60 dias após emergência.

O diâmetro do bulbo reduziu com o aumento da salinidade da água, sendo observados os maiores valores nas plantas irrigadas com água de CEa de  $0,50 \text{ dS m}^{-1}$  aos 60 DAE, com 48 mm. As plantas irrigadas com água de maior salinidade foram as que apresentaram os menores valores independente do período avaliado (Figura 4). O comportamento dos valores observados no presente trabalho são semelhantes aos relatados por Silva et al. (2015), que ao estudarem o manejo da fertirrigação e salinidade do solo no crescimento da cultura da

beterraba verificaram que o aumento da CEa reduziu o diâmetro do bulbo. Esse comportamento é comum em plantas submetidas a condições de salinidade, pois o NaCl influencia negativamente o desenvolvimento das plantas, em virtude do excesso dos íons,  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nos cloroplastos das plantas, restringindo a absorção da água. Na pesquisa houve déficit hídrico nas plantas de beterraba (mesmo mantendo o solo em situação satisfatória de água disponível), já que o estresse salino induz a redução na absorção de água, e dessa forma torna o crescimento das plantas mais lento, na tentativa de sobreviver em meio ao estresse (Munns, 2005; Rahimi et al., 2012; Hasanuzzaman et al., 2013), além de reduzir a atividade fotossintética das plantas (Yadav et al., 2011; Huang et al., 2012; Shahzad et al., 2012; Ashraf e Harris, 2013).

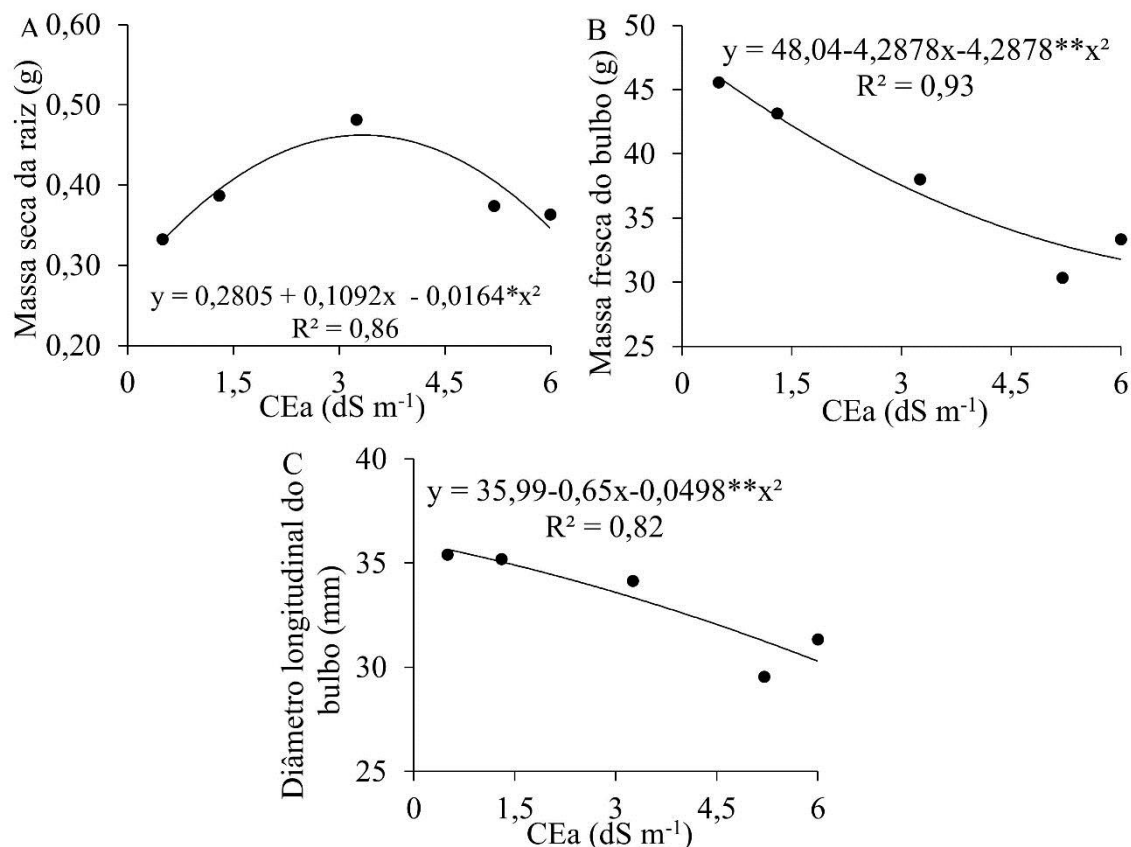


**Figura 4:** Diâmetro de bulbos de folhas de plantas de beterraba em diferentes condutividades elétricas da água de irrigação aos 15, 30, 45 e 60 dias após emergência.

O modelo que melhor se ajustou para a massa seca da raiz, massa fresca do bulbo e diâmetro longitudinal do bulbo foi o quadrático, obtendo a máxima matéria seca da raiz na CEa de  $3,38 \text{ dS m}^{-1}$ , que corresponde a  $0,46 \text{ g}$  (Figura 5A). Já para a massa fresca do bulbo foi de  $46,84 \text{ g}$  nas plantas irrigadas com CEa de  $0,23 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 5B) e para o diâmetro longitudinal o máximo foi observado nas plantas irrigadas com água de CEa de  $0,11 \text{ dS m}^{-1}$  correspondendo a  $35,98 \text{ mm}$  (Figura 5C).

Os menores valores das variáveis estudadas são observados nas plantas irrigadas com CEa até  $6,0 \text{ dS m}^{-1}$  sendo atribuídos à interação dos sais com nutrientes presentes no solo, resultando em desequilíbrios nutricionais na planta, com consequente redução no acúmulo de biomassa nas plantas de beterraba. Tais decréscimos na absorção dos nutrientes essenciais

ocorrem em virtude dos mecanismos de competitividade ou alteração estrutural das membranas celulares. As mudanças no balanço nutricional da planta resultam em altas relações de  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-/\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (YADAV et al., 2011; SHAHZAD et al., 2012).



**Figura 5:** Massa seca da raiz (A), massa fresca do bulbo (B) e diâmetro longitudinal do bulbo (C) de plantas de beterraba em diferentes condutividades elétricas da água de irrigação aos 15, 30, 45 e 60 dias após emergência.

Apesar da variação significativa promovida pela condutividade da água de irrigação sob os teores de clorofila a (Cl a), clorofila b (Cl b), clorofila total (Cl total), número de folhas (Nf), massa seca da folha (Msf) e diâmetro transversal do bulbo (Dtb), os valores observados para essas variáveis não se ajustaram a nenhum modelo de regressão que explicasse o fenômeno biológico (Tabela 3).

Os teores de pigmentos fotossintéticos (clorofila a; clorofila total e clorofila b) foram menores nas plantas irrigadas com águas de alta salinidade (5,2 e 3,25 dS m<sup>-1</sup>), obtendo-se nesta condutividade elétrica 37,05; 52,73 e 15,23 respectivamente (Tabela 3).

Esse comportamento já foi observado em diversas culturas submetidas ao estresse salino (HASHEMI et al., 2010; LEE et al., 2010; TAHIR et al., 2012; BAE et al., 2012; YIN et al., 2013; HAGHIGHI e PESSARAKLI, 2013; ROHANIPOOR et al., 2013), pois um dos efeitos mais notáveis do estresse salino é a alteração da biossíntese dos pigmentos fotossintéticos, pois o estresse salino reduz consideravelmente a atividade fotossintética das plantas, o conteúdo de pigmentos, a exemplo da clorofila que é reduzida, bem como a atividade das enzimas fotossintéticas também diminui, limitando o transporte de elétrons nos cloroplastos, com consequente redução na eficiência fotoquímica do fotossistema II (HUANG et al., 2012).

O número de folhas, massa seca da folha e diâmetro transversal do bulbo não apresentaram efeito significativo quando as plantas foram irrigadas com águas salinas, observando-se valores médios para estas variáveis de 9,96 folhas, 6,35 g e 53,47 mm, respectivamente (Tabela 3).

Em trabalho realizado com a cultura do milho, Moussa e Galad (2015) constataram decréscimos nos pigmentos fotossintéticos (clorofila *a* + *b* e carotenóides), na taxa de assimilação do CO<sub>2</sub> e na taxa de transpiração, evidenciando os efeitos prejudiciais da salinidade no desenvolvimento das gramíneas.

**Tabela 3:** Teores de clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *b* (Cl *b*), clorofila total (Cl total), número de folhas (Nf), massa seca da folha (Msf) e diâmetro transversal do bulbo (Dtb) de plantas de beterraba em função da irrigação com águas salinas.

CEa (dS m <sup>-1</sup> )	Cl <i>a</i>	Cl <i>b</i>	Cl total	Nf unid.	Msf g	Dtb mm
0,50	38,33	15,88	54,13	10,50	6,81	59,60
1,30	38,30	15,69	54,00	10,42	8,15	60,27
3,25	38,34	15,23	53,57	10,39	7,30	56,15
5,20	37,05	15,68	52,73	9,96	6,51	53,47
6,00	37,50	15,42	52,92	10,42	6,35	57,45
Média	37,90	77,90	267,35	51,69	35,12	286,94
CV(%)	189,52	15,58	53,47	10,34	7,02	57,39

Para as doses de silício, constatou-se também o não ajustamento dos dados aos modelos de regressão testados para os teores de clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *b* (Cl *b*), clorofila

total (Cl total), número de folhas (Nf), massa seca da folha (Msf) e diâmetro transversal do bulbo (Dtb) (Tabela 4).

Os teores de pigmentos fotossintéticos não apresentaram efeito significativo para as doses de silício, contudo, não se ajustaram aos modelos de regressão; verificou-se que as plantas que receberam as maiores doses de Si apresentou os maiores valores (38,40; 16,05 e 54,45) para os teores de clorofila *a*, *b* e total, respectivamente (Tabela-4).

O aumento nos teores de pigmentos fotossintéticos se deve ao maior fornecimento de silício, pois o Si atua indiretamente sobre alguns aspectos fotossintéticos e bioquímicos, especialmente quando estas plantas estão submetidas a algum tipo de estresse (Tahir et al., 2012; Bae et al., 2012; Yin et al., 2013).

As doses de silício proporcionaram a obtenção dos maiores valores para o número de folhas, massa seca da folha, massa fresca do bulbo, massa seca da raiz e diâmetro longitudinal do bulbo, obtendo-se 11,08 folhas; 7,88 g; 42,68 g; 0,44 g e 37,47 mm nas plantas que não receberam silício, respectivamente. Entretanto, o diâmetro transversal foi maior nas plantas que receberam 9,08 ml L<sup>-1</sup> (Tabela 4).

**Tabela 4:** Índice de clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *b* (Cl *b*), clorofila total (Cl total), número de folhas (Nf), massa seca da folha (Msf), massa fresca do bulbo (Mfb), massa seca da raiz (Msr), diâmetro transversal do bulbo (Dtb) e diâmetro longitudinal do bulbo (Dlb) de plantas de beterraba sob aplicação foliar de silício.

Silício	Cl <i>a</i>	Cl <i>b</i>	Cl total	Nf	Msf	Mfb	Msr	Dtr	Dlo
mL L <sup>-1</sup>					----- g -----			mm	mm
0,00	37,59	13,38	50,98	11,08	7,88	42,68	0,44	52,32	37,47
2,64	37,30	15,55	52,85	10,08	7,61	39,99	0,40	57,45	32,57
9,08	38,29	15,85	54,11	10,31	6,77	39,56	0,43	58,70	33,64
15,52	38,05	15,82	53,88	10,29	7,04	33,48	0,36	56,28	32,16
18,16	38,40	16,05	54,45	10,08	6,88	31,56	0,42	57,08	30,81
Média	189,63	76,65	266,27	51,84	36,18	187,27	2,05	281,83	166,65
CV(%)	37,92	15,33	53,30	10,37	7,24	37,45	0,41	56,37	33,33



## CONCLUSÃO

O crescimento e os teores de pigmentos fotossintéticos de beterraba são afetados negativamente pela salinidade na água de irrigação.

A aplicação de silício via foliar não influencia no cultivo de beterraba, nem atenuou a salinidade, mas as plantas que receberam aplicação apresentaram maiores teores de pigmentos fotossintéticos.

O aumento da condutividade elétrica na água de irrigação reduziu o crescimento da beterraba.

## REFERÊNCIAS

AREF, F.; RAD, H. E. Physiological characterization of rice under salinity stress during vegetative and reproductive stages. *Indian Journal of Science and Technology*, v. 5, n. 4, p. 2578-2586, 2012.

ASHRAF, M.; HARRIS, P.J.C. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*, v. 51, n. 2, p. 163-190, 2013.

CODY, R. An introduction to SAS. Cary: SAS Institute, 2015.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solo. 4. ed., Brasília, DF: Embrapa Solos, 376 p. 2014.

FERREIRA, E.P. et al. Uso eficiente da água de chuva armazenada em cisterna para produção de hortaliças no Semiárido pernambucano. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 11, n. 2, p. 01-07, 2016.

HAGHIGHI, M.; PESSARAKLI, M. Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherrytomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. *Scientia Horticulturae*, v.161, p.111-117, 2013.

HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; FUJITA, M. Plant Response to Salt Stress and Role of Exogenous Protectants to Mitigate Salt-Induced Damages. In: AHMAD, P. et al. (eds.), *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress*. 25-87p. 2013.

MATEUS, N. B.; BARBIN, D.; CONAGIN, A. Viabilidade de uso do delineamento composto central. *Acta Scientiarum*, vol. 23, n.6, p. 1537-1546, 2001.

MENDONÇA, A.O. et al. Acúmulo de silício e compostos fenólicos na parte aérea de plantas de trigo após a adubação silicatada. *Bioscience Journal*, v.29, n.5, p.1154-1162, 2013.

MGUIS, K. et al. Adjustments in leaf water relations of wild wheat relative *Aegilops geniculata* Roth. and wheat (*Triticum durum* Desf.) plants grown in a salinity gradient. *Australian Journal of Crop Science*, v. 6, n. 5, p. 768-776, 2012.

MOUSSA, H.R.; GALAD, M.A.R. Comparative Response of Salt Tolerant and Salt Sensitive Maize (*Zea mays* L.) Cultivars to Silicon. *European Journal of Academic Essays*, v. 2, n. 1, p. 1-5, 2015.

OLIVEIRA, A.M.P. et al. Cultivo de rabanete irrigado com água salina. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 7, p. 01-05, 2012.

PAIVA, P. V. V. et al. Avaliação de crescimento de cultivares de beterraba de mesa sob diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada - RBAI*, v. 11, n. 2, p. 1271 – 1277, 2017.

RICHARDS, L. A. *Diagnóstico e rehabilitación de suelos salinos e sódicos*. México: Editorial Limusa, 1954. 172/p.

ROHANIPOOR, A. et al. Effect of Silicon on Some Physiological Properties of Maize (*Zea mays*) under Salt Stress. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, v.7, n.20, p.71-79, 2013.

SÁ, F. V. S. et al. Influência do gesso e biofertilizante nos atributos químicos de um solo salino-sódico e no crescimento inicial do girassol. *Irriga*, v. 20, n. 1, p. 46-59, 2015.

SAHEBI, M. et al. Application of silicon in plant tissue culture. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, v. 52, n. 3, p. 226-232, 2016.

SANTOS, D. P. et al. Crescimento e fitomassa da beterraba sob irrigação suplementar com água de diferentes concentrações salinas. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 10, n. 4, p.883-892, 2016.

SANTOS, J. B. et al. Comportamento morfofisiológico da mamoneira BRS Energia submetida à irrigação com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 2, p. 145-152, 2013.

SHI, Y. et al. Silicon decreases chloride transport in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions. *Journal of Plant Physiology*, v.170, p.847- 853, 2013.

SILVA, A. O. et al. Manejo da fertirrigação e salinidade do solo no crescimento da cultura da beterraba. *Engenharia Agrícola*, v.35, n.2, pp. 230-241, 2015.

SIMÕES, W. L. et al. Desempenho de cultivares de beterrabas submetidas a diferentes lâminas de irrigação no Submédio São Francisco. *Water Resources and Irrigation Management*, v. 5, n. 2, p. 51 – 57, 2016.

SOUSA, R. A. et al. Crescimento do sorgo em função da irrigação com água salobra e aplicação de compostos orgânicos. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.12, n.1, p. 2315 - 2326, 2018.

TESTER, M.; DAVENPORT, R.  $\text{Na}^+$  tolerance and  $\text{Na}^+$  transport in higher plants. *Annals of botany*, v. 91, n. 5, p. 503-527, 2003.

YADAV, S. et al. Causes of salinity and plant manifestations to salt stress: A review. *Journal of Environmental Biology*, v.32, p.667-685, 2011.

ZHU, Y.; GONG, H. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. *Agronomy for Sustainable Development*, v.34, n.2, p.455-472, 2014.

**Artigo II:**

**Águas salinas e aplicação de silício via solo no crescimento, pigmentos cloroplastídicos,  
fluorescência da clorofila em beterraba**

## **Águas salinas e aplicação de silício via solo no crescimento, pigmentos cloroplastídicos, fluorescência da clorofila em beterraba**

### **RESUMO**

A restrição hídrica é determinante no crescimento de beterraba que possui crescente demanda na população brasileira. As plantas não toleram altos teores de sais, assim, o uso de atenuadores de estresse salino pode ser uma estratégia para possibilitar o uso de águas salinas na agricultura. Neste sentido objetivou-se avaliar o efeito de águas salinas e aplicação de silício via solo no crescimento, pigmentos cloroplastídicos, fluorescência da clorofila *a* em beterraba. O delineamento experimental foi em blocos casualizados segundo a matriz experimental Composto Central de Box, referente a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e doses de silício (Si), com valores mínimos e máximos, respectivamente (CEa): (0,5; 1,3; 3,25; 5,2 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>) e Si (0,00; 2,64; 9,08; 15,52 e 18,16 mL L<sup>-1</sup>), 10 tratamentos, quatro repetições e três plantas por parcela. O aumento da CEa da água de irrigação reduz o crescimento e produção de beterraba, mas os índices de clorofila, produção de biomassa e fluorescência não foram influenciados pela salinidade. A aplicação de silício aumenta o crescimento e a fluorescência da clorofila *a*, entretanto, não reduz o efeito nocivo do estresse salino. A CEa da água de irrigação acima de 0,50 dS m<sup>-1</sup> é suficiente para afetar negativamente o cultivo de beterraba e a dose de 9,08 ml L<sup>-1</sup> de silício é a mais recomendada para aplicação.

**Palavras-chave:** *Beta vulgaris* L., estresse abiótico, silicato de potássio, fotossíntese.

## ABSTRACT

In recent years the use of saline water in agriculture is an alternative, mainly because of water scarcity. However, plants do not tolerate high salt content, thus, the use of salt stress attenuators may be a strategy to enable saline water usage in the agriculture. This study aims to assess the effect of saline water and applying silicon on growth, chloroplastid pigments, chlorophyll fluorescence a and beet production. The experiment was conducted under experimental design in complete randomized blocks, in factorial 5 x 5 combined according to the experimental matrix Central Composite of Box, concerning the electrical conductivity in the irrigation water (EC<sub>w</sub>) and silicon doses (Si), with minimum (-  $\alpha$ ) and maximum ( $\alpha$ ) values respectively from 0.5 to 6.0 dS m<sup>-1</sup> and from 0.00 to 18.16 mL L<sup>-1</sup>, totaling nine treatments, with four replicates and three plants per plot. The increase of EC<sub>w</sub> in irrigation water reduces growth and production of beets, but the chlorophyll contents, biomass and fluorescence production was not affected by salinity. Silicon application via soil increases growth and chlorophyll fluorescence a, however, does not reduce the harmful effect of salt stress. The EC<sub>w</sub> of irrigation water above 0.50 dS m<sup>-1</sup> is sufficient to negatively affect the beet crop and the dose of 9.08 mL L<sup>-1</sup> of silicon is the most recommended for application.

**Key words:** *Beta vulgaris* L., abiotic stress, potassium silicate, photosynthesis.

## INTRODUÇÃO

O desempenho agronômico das culturas depende consideravelmente dos fatores edafoclimáticos, os quais se encontram equilibrados em condições ótimas. Entretanto, durante a condução as culturas agrícolas estão sujeitas a diversos tipos de estresses bióticos (pragas e doenças) ou algum estresse abiótico, isolados ou combinados. Mas nos últimos anos, um dos principais problemas na agricultura, principalmente em regiões áridas e semiáridas é o alto teor de sais na água e no solo (SYVERTSENA; GARCIA-SANCHEZ, 2014).

Nas regiões áridas e semiáridas, em virtude da baixa precipitação pluviométrica bem como da irregularidade nas chuvas torna-se quase obrigatório a irrigação complementar, que associado a necessidade de expandir as áreas de cultivo, faz com que águas de baixa qualidade para irrigação seja uma alternativa (LIMA et al., 2014).

As plantas apresentam comportamentos diferentes ao uso de águas salinas, e a sensibilidade à salinidade depende de diversos fatores, como variedade e do tempo de exposição das plantas aos sais (PEDROTTI et al., 2015). Quando submetidas ao estresse salino, as plantas estão sujeitas a alterações a nível celular, compreendendo destruição da membrana plasmática da raiz e estresse iônico nas células do caule (REIS et al., 2016), dessa forma, um dos principais sintomas é o fechamento estomático, e conseqüentemente menor atividade fotossintética, provocando decréscimos no crescimento e produtividade (FRAIRE-VELÁZQUEZ; BALDERAS HERNÁNDEZ, 2013; REIS et al., 2016).

Nos últimos anos, uma das estratégias para reduzir os efeitos deletérios do estresse salino é utilizar a adubação com silício (SAHEBI et al., 2016). Estudos apontam que o silício pode aumentar a tolerância das plantas ao estresse salino, pois a absorção dos íons K e Ca contribuem para a manutenção dos teores de K e Na nas plantas, entretanto, não foram descobertos os mecanismos que contribuem para o aumento da tolerância ao estresse salino (DIAS e BLANCO, 2010; SHI et al., 2013; CASTELLANO et al., 2016).

Em hortaliças são escassos os estudos sobre alguns dos efeitos do Si nas plantas, até o momento os estudos apontam que este elemento pode atenuar os efeitos deletérios dos sais nas plantas, mas para a beterraba as pesquisas que tentam elucidar o efeito de atenuadores do estresse salino são escassos. Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de águas salinas e aplicação de silício sobre o crescimento, pigmentos cloroplastídicos, fluorescência da clorofila *a* e produção de beterraba.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de janeiro a março de 2018 em casa de vegetação localizada no setor de Fruticultura, pertencente à Universidade Federal da Paraíba no município de Areia-PB, situada nas coordenadas geográficas 6°51'47" e 7°02'04" latitude Sul e longitude Oeste 35°34'13" e 35°48'28" do meridiano de Greenwich.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados segundo a matriz experimental Composto Central de Box (Matheus et al., 2011), referente a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e doses de silício (Si), com valores mínimos e máximos, respectivamente (CEa): (0,5; 1,3; 3,25; 5,2 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>) e Si (0,00; 2,64; 9,08; 15,52 e 18,16 mL L<sup>-1</sup>), 10 tratamentos,, com dez tratamentos, com quatro repetições e três plantas por parcela.

Mudas de beterraba da cv. Maravilha foram produzidas em bandejas e plantadas em vasos de 22 cm de diâmetro superior, 16 cm de diâmetro inferior e 18 cm de altura, com capacidade volumétrica de 8 dm<sup>3</sup>, e com furos circulares de 1 cm de diâmetro em sua face inferior, com a finalidade de permitir melhor aeração das raízes e percolação do excesso de água.

Os vasos foram preenchidos com solo de horizonte A, coletado na profundidade de 0-20 cm, classificado como Planossolo Háplico Eutrófico êndico (Embrapa 2014), as características químicas e físicas (Tabela 1) foram analisadas de acordo com a metodologia da EMBRAPA (2009) e da EMBRAPA (2014), respectivamente. O solo foi previamente secado ao ar e devidamente homogeneizado, sendo colocado nos vasos acomodados previamente com tela (tecido tule) e 200 g de brita, para evitar a saída de solo dos vasos por seus orifícios inferiores.

**Tabela 1.** Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento.

Atributos químicos		Atributos físicos	
pH	6,26	Ds (g cm <sup>-3</sup> )	1,38
P (mg dm <sup>-3</sup> )	11,35	Dp (g cm <sup>-3</sup> )	2,67
K <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	40,00	PT (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0,48
Na <sup>+</sup> (cmol dm <sup>-3</sup> )	0,22	CC (g g <sup>-1</sup> )	78,00
H+Al (cmol dm <sup>-3</sup> )	1,82	PMP (g g <sup>-1</sup> )	43,00
Al <sup>+3</sup> (cmol dm <sup>-3</sup> )	0,00	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	756,90
Ca <sup>+2</sup> (cmol dm <sup>-3</sup> )	3,00	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	59,10
Mg (cmol dm <sup>-3</sup> )	1,90	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	184,00
SB (cmol dm <sup>-3</sup> )	5,22	-	-
CTC (cmol dm <sup>-3</sup> )	7,03	-	-
V (%)	74,34	-	-
M (%)	0,00	-	-
MO (g Kg <sup>-1</sup> )	17,53	Classificação textural	Franco arenosa



SB =  $(\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ ; CTC = SB +  $(\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})$ ; V =  $(100 \times \text{SB}/\text{CTC})$ ; MO = matéria orgânica. Ds = densidade do solo; Dp = Densidade de partícula; Pt = Porosidade total;  $(1 - (\text{Ds}/\text{Dp}) \times 100)$  CC = Umidade volumétrica na capacidade de campo, - 0,033 Mpa; PMP = Umidade volumétrica no ponto de murcha permanente - 1,5 Mpa.

As plantas foram irrigadas diariamente elevando-se a umidade do solo em torno de 70% da capacidade de campo (CC). As diferentes CEa foram obtidas pela utilização dos sais de NaCl,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , na proporção de 7:2:1 (MEDEIROS, 1992) conforme características apresentadas na Tabela 2. A irrigação com as fontes de água de diferentes Condutividades foi iniciada 10 dias após a emergência. No primeiro dia após a emergência (DAE), a lâmina foi calculada pela equação proposta por Mantovani et al. (2009), sendo a irrigação total necessária (ITN), calculada pela equação de Bernardo et al. 2008, considerando 100% de eficiência de aplicação da irrigação.

**Tabela 2.** Características químicas das águas utilizadas no experimento

Atributos	Condutividades das águas ( $\text{dS m}^{-1}$ )				
	0,50	1,30	3,25	5,20	6,00
	Valores				
pH	7,00	7,50	7,40	7,30	7,40
$\text{SO}_4^{2-}$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	3,22	3,70	3,67	3,35	3,90
$\text{Mg}^{2+}$ ( $\text{mmolc dm}^{-3}$ )	1,33	1,78	1,93	2,03	2,98
$\text{Na}^+$ ( $\text{mmolc dm}^{-3}$ )	1,70	5,92	12,57	20,5	24,20
$\text{K}^+$ ( $\text{mmolc dm}^{-3}$ )	0,20	0,21	0,20	0,20	0,21
$\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{mmolc dm}^{-3}$ )	0,73	1,58	1,78	1,88	2,53
$\text{CO}_3^{2-}$ ( $\text{mmolc dm}^{-3}$ )	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\text{HCO}_3^-$ ( $\text{mmolc dm}^{-3}$ )	2,75	3,50	4,00	4,25	4,25
$\text{Cl}^-$ ( $\text{mmolc dm}^{-3}$ )	3,40	10,90	30,40	48,90	58,15
RAS ( $\text{mmol L}^{-1}$ ) <sup>0,5</sup>	1,28	1,87	2,60	3,23	2,96
Classificação	C2S1	C3S3	C4S4	C4S4	C4S4

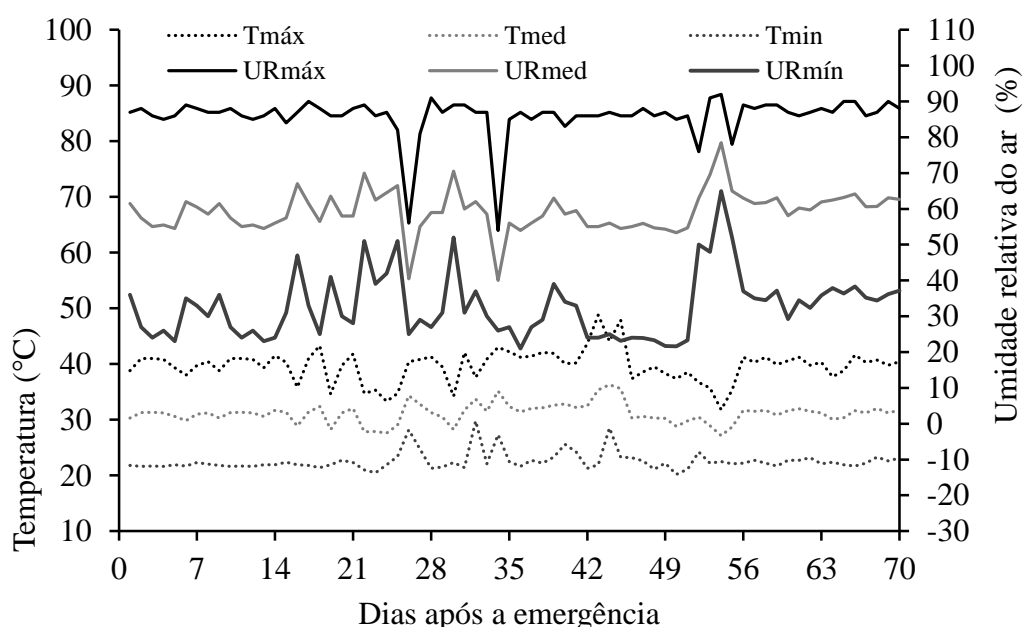
CEai = Condutividade elétrica a 25°C; RAS = Razão de adsorção de sódio  $[\text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} / 2)]^{1/2}$ ;  $\text{CO}_3^{2-}$  = Ausente. Classificação da água conforme Richards (1954).

O silício foi aplicado sob a forma de silicato de potássio ( $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ), líquido, com 12% Si e 15% de  $\text{K}_2\text{O}$ . As doses de Si dos tratamentos foram aplicadas via solo. Entretanto houve compensação do  $\text{K}_2\text{O}$  via solo, nas aplicações utilizadas nas beterrabas objetivando o fornecimento da mesma quantidade de potássio para todas as plantas.

A dose de silício foi  $77 \text{ ml L}^{-1}$  que equivale a 0,77 ml por vasos, dividido por 7 aplicações de (Si) vezes o total de vasos distribuídos aos tratamentos e diluídas em água destilada, sendo posteriormente 50 ml dessa solução aplicada via foliar em beterrabas.

As dosagens com silício via foliar na cultura de beterraba foram as seguintes: D0 = 0,00 sem silício, sendo 50 ml; D1 = 0,77 ml por vasos dividido por 7 aplicações de (Si) equivale a (0,11 ml\vasos x 24 vasos) igual a 2,64 ml de silício; D2 = 2,648 ml por vasos dividido por 7 aplicações de (Si) equivale a (0,378 ml\vasos x 24 vasos) igual a 9,08 ml de silício; D3 = 4,526 ml por vasos dividido por 7 aplicações de (Si) equivale a (0,646 ml\vasos x 24 vasos) igual a 15,52 ml de silício e a D4 = 5,296 ml por vasos dividido por 7 aplicações de (Si) equivale a (0,756 ml\vasos x 24 vasos) igual a 18,16 ml de silício.

Durante a condução do experimento foram registrados diariamente os dados climáticos (Figura 1) com termohigrômetro digital HT-600 Instrutherm<sup>®</sup>, instalado no interior da área experimental, à altura das plantas. A temperatura do ar média foi próxima da faixa considerada ideal (25°C) durante o ciclo da cultura, segundo Filgueiras (2008).



**Figura 1.** Umidade relativa do ar e temperatura no período de condução do experimento. Temperaturas do ar máximas (Tmáx), médias (Tmed) e mínimas (Tmin) em °C; umidade relativa do ar máximas (URmáx), médias (URmed) e mínimas (URmín) em %.

A adubação de plantio e cobertura foi feita com 40, 180 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de NPK, respectivamente, com ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, de acordo com a análise química do solo e recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (IPA 2008). Realizaram-se durante a condução do experimento controles fitossanitários de pragas e de plantas daninhas manualmente.

O crescimento das plantas de beterraba foi avaliado a partir das medições da altura da planta (mensuração com uma régua graduada em cm), área foliar (medindo-se as dimensões de

maior comprimento (C) e largura (L), e aplicando-se na fórmula  $AF = C \cdot L \cdot f$ , sendo  $AF$  = área foliar em  $m^2$ ;  $C$  = comprimento da folha, em m;  $L$  = largura da folha, em m; e  $f$  = fator de correção indicado para beterraba (0,692), conforme Simões et al. (2016)), número de folhas, comprimento e largura da folha (com auxílio de uma régua graduada em cm) aos 15, 30, 45 e 60 dias após emergência.

Ao final do experimento foram realizadas as medições de: diâmetro longitudinal e transversal do bulbo, massa fresca do bulbo, massa fresca da folha, massa seca da folha, massa seca da raiz, índices foliares de Clorofila *a*, *b*, total e relação clorofila *a/b* realizadas as 9h00 e 11h00 na parte mediana de todas as folha das plantas utilizando-se clorofilômetro eletrônico portátil (ClorofiLog®, modelo CFL 1030, Falker). As leituras foram realizadas em folhas intermediárias das três plantas centrais da área experimental, realizando-se quatro leituras por plantas.

Foram avaliados ainda a fluorescência inicial ( $F_o$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v$ ) e eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) utilizando-se um fluorômetro portátil (PEA – Plant Efficiency Analyser, Hansatech)

Os dados médios obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão polinomial, e para as avaliações repetidas no tempo utilizou-se o modelo misto (MIXED), auxiliado pelo software estatístico SAS® University (Cody, 2015).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura da planta ajustou-se a um modelo quadrático em função das salinidades na água de irrigação, havendo redução na altura das plantas com o incremento das concentrações de sais, atingindo o ponto de máxima eficiência quando as plantas foram irrigadas com água de  $0,50 \text{ dS m}^{-1}$ , correspondendo à altura de 27,50 cm; ao irrigar com as águas salinas de alta salinidade, a altura da planta reduziu (Figura 2A).

A redução na altura da planta também foi observada por Silva et al. (2015), os quais verificaram que a maior altura das plantas de beterraba cv. Itapuã foi 43,6 cm com irrigação da água  $6 \text{ dS m}^{-1}$ , havendo redução a partir do aumento da salinidade. Santos et al. (2016) observaram que a máxima altura foi obtida com  $3,11 \text{ dS m}^{-1}$ , o que corresponde a 12,8 cm, semelhantes aos resultados obtidos no presente trabalho, que o aumento da salinidade na água de irrigação reduz consideravelmente a altura da planta.

O mesmo comportamento foi observado para a área foliar que apresentou redução com o incremento da salinidade, obtendo a maior área foliar de  $3720,75 \text{ m}^2$  nas plantas irrigadas com águas de  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 2B). Essa redução pode ter sido ocasionada devido às

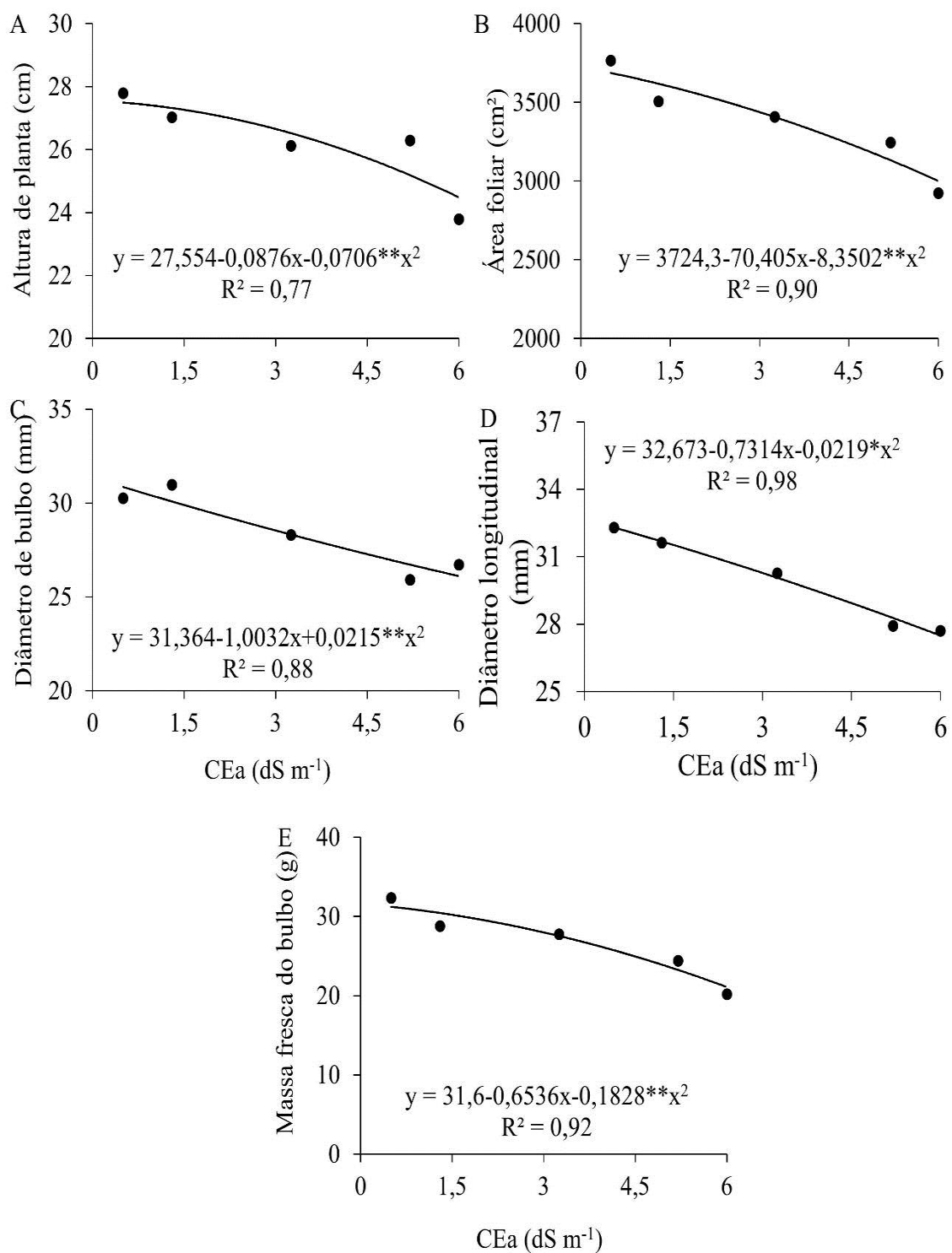
mudanças morfofisiológicas, sendo um dos primeiros sintomas a redução na área foliar, como uma forma de aumentar a tolerância à salinidade.

Santos et al. (2016) observaram que a máxima área foliar foi obtida com a salinidade de  $2,85 \text{ dS m}^{-1}$ , correspondendo a  $21,4 \text{ m}^2$ , resultado esse inferior ao obtido no presente trabalho. Em estudos com a cultura do rabanete, Oliveira et al. (2012) constataram que o maior valor de área foliar foi verificado nas plantas irrigadas com água de menor salinidade ( $2 \text{ dS m}^{-1}$ ), obtendo-se  $497,20 \text{ cm}^2$ , enquanto, a maior CEa ( $10 \text{ dS m}^{-1}$ ) resultou no menor valor de área foliar, com  $220 \text{ cm}^2$ , ou seja, redução de 55,75%, corroborando os dados obtidos neste estudo.

O diâmetro transversal e longitudinal do bulbo apresentam redução ao irriga-se as plantas de beterraba com águas salinas. Os maiores diâmetros  $31,26 \text{ mm}$  com irrigação com água de  $0,10 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 2C) e  $32,56 \text{ mm}$  com água de  $0,15 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 2D).

A massa fresca do bulbo também apresentou redução com o incremento dos sais na água de irrigação de forma que a maior massa fresca do bulbo foi de  $31,49 \text{ g}$  quando as plantas de beterraba foram irrigadas com água de  $0,14 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 2E).

Os resultados obtidos no presente trabalho são semelhantes aos relatados por Silva et al. (2015) que ao estudarem o manejo da fertirrigação e salinidade do solo no crescimento da cultura da beterraba observaram que o aumento da salinidade da água, reduziram o diâmetro do bulbo das plantas de beterraba.



**Figura 2:** Efeito de níveis de salinidade sobre a altura da planta (A), área foliar (B) e diâmetro transversal do bulbo (C), diâmetro longitudinal do bulbo (D) e massa fresca do bulbo (E) de plantas de beterraba.

Na tabela 3 verifica-se que a salinidade na água de irrigação não afetou significativamente as variáveis largura da folha (Lf), comprimento da folha (Lf), área foliar (Af), número de folhas (Nf), teores de clorofila A (Cl *a*), clorofila B (Cl *b*), clorofila total (Cl total), relação clorofila *a/b* (Cl *a/b*), massa fresca da folha (Mff), massa seca da folha (Msf), massa seca da raiz (Msr), diâmetro transversal do bulbo (Dt), fluorescência inicial ( $F_o$ ), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv) e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) de plantas de beterraba em função da irrigação com águas salinas. Contudo, os maiores valores foram observados nas plantas de beterraba irrigadas com água de baixa salinidade (0,50 dS m<sup>-1</sup>), Tabela 3, e apesar de não ter apresentado efeito significativo os menores valores foram observados com a irrigação com água de maior salinidade (6,00 dS m<sup>-1</sup>), comprovando que o estresse salino reduz drasticamente o crescimento e desenvolvimento das plantas, assim como foi observado por Silva et al. (2015) e Santos et al. (2016) em beterraba e por Shi et al. (2013), Lima et al. (2014) e Reis et al. (2016) em arroz, rosas e mamona, respectivamente.

Ao irrigar as plantas de beterraba com água de 6,00 dS m<sup>-1</sup>, verificou-se os menores valores para massa fresca da folha, massa seca da folha e massa seca da raiz, que pode ter sido ocasionado devido a diminuição no potencial osmótico acrescido da solução do solo, bem como do acúmulo excessivo de sais, inibindo a absorção de água das plantas de beterraba, e em consequência disso as plantas precisam de maior esforço energético para a absorção de água e nutrientes, reduzindo-se, assim, seu crescimento e acúmulo de biomassa (Silva, 2012).

Os menores valores para os teores de clorofila *a*, *b* e total, fluorescência da clorofila *a* e eficiência fotoquímica do fotossistema II quando as plantas foram irrigadas com água de maior salinidade (6,00 dS m<sup>-1</sup>) se deve à redução na atividade das enzimas fotossintéticas, limitando o transporte de elétrons nos cloroplastos. Dessa forma, com o acúmulo de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nos cloroplastos ocorre alterações na atividade fotossintética das plantas, que reduzem a eficiência fotoquímica do fotossistema II (HUANG et al., 2012).

O mesmo comportamento foi observado por Silva et al. (2013), ao constatarem decréscimo no crescimento e nos parâmetros fisiológicos da beterraba cv. Early Wonder com o incremento da salinidade. Silva et al. (2015), também verificou que a salinidade na água de irrigação reduziu o crescimento das plantas de beterraba.

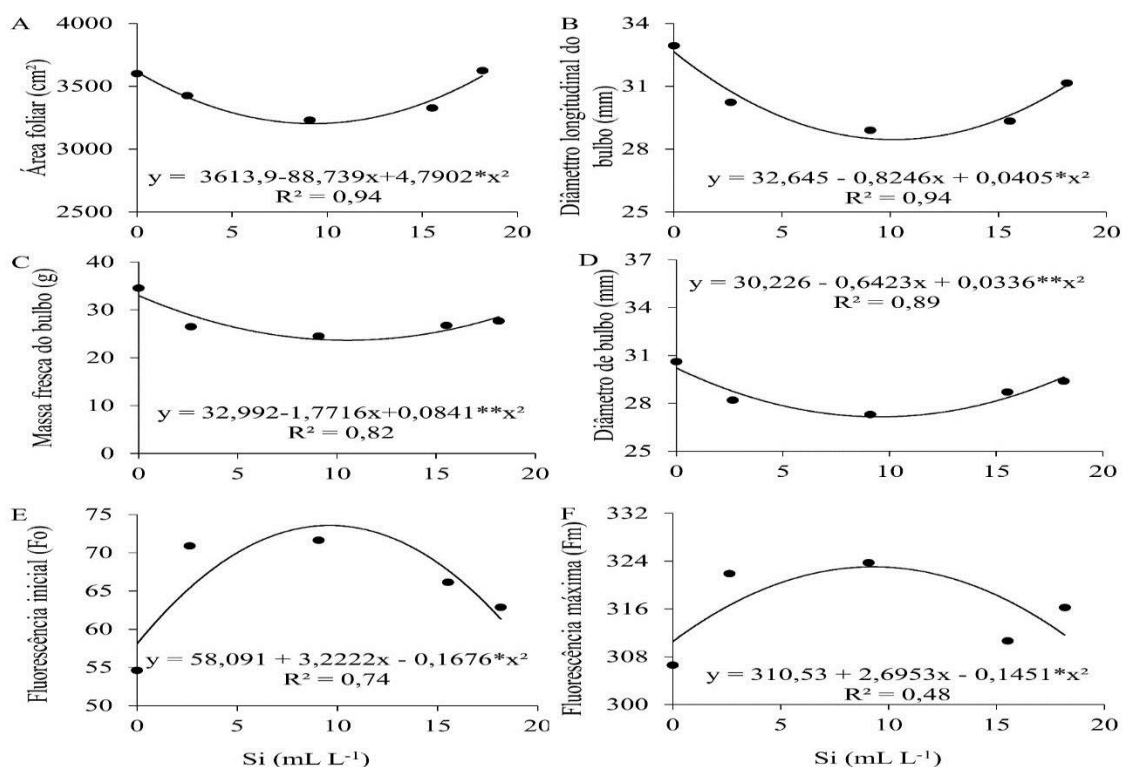
**Tabela 3:** Médias referente à largura da folha (Lf), comprimento da folha (Lf), área foliar (Af), número de folhas (Nf), teores de clorofila A (Cl *a*), clorofila B (Cl *b*), clorofila total (Cl total), relação clorofila *a/b* (Cl *a/b*), massa fresca da folha (Mff), massa seca da folha (Msf), massa seca da raiz (Msr), diâmetro transversal do bulbo (Dt), fluorescência inicial ( $F_o$ ), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv) e eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) de plantas de beterraba em função da irrigação com águas salinas.

CEa (dS m <sup>-1</sup> )	Lf (cm)	Cf (cm)	Af (m <sup>2</sup> )	Nf
0,50	62,717	123,067	5398,069	9,917
1,30	60,525	105,721	4762,318	10,208
3,25	56,094	95,144	3821,685	10,111
5,20	55,883	103,821	3822,558	9,958
6,00	51,650	83,992	3284,998	9,917
Média	286,869	511,745	21089,628	50,511
CV(%)	57,37	102,35	4217,926	10,022
CEa (dS m <sup>-1</sup> )	Cl <i>a</i>	Cl <i>b</i>	Cl total	Cl <i>a/b</i>
0,50	38,000	17,675	53,675	2,154
1,30	36,629	18,408	55,038	2,082
3,25	35,367	17,700	53,067	2,137
5,20	35,238	17,167	52,404	2,205
6,00	35,425	13,067	51,492	1,766
Média	180,659	84,017	265,676	10,344
CV(%)	36,13	16,803	53,135	2,068
CEa (dS m <sup>-1</sup> )	Mff (g)	Msf (g)	Msr (g)	Dt (mm)
0,50	32,806	11,726	0,127	55,324
1,30	29,504	9,403	0,179	54,190
3,25	27,933	9,201	0,134	53,855
5,20	28,442	11,292	0,170	54,522
6,00	21,370	8,749	0,110	46,351
Média	140,055	50,371	0,720	264,242
CV(%)	28,01	10,074	0,144	52,848
CEa (dS m <sup>-1</sup> )	$F_o$	Fm	Fv	$F_v/F_m$
0,50	78,19	332,38	294,19	0,95
1,30	62,88	318,97	256,09	0,79
3,25	65,75	317,77	252,02	0,80
5,20	74,13	313,66	239,53	0,77
6,00	56,94	318,44	2371,50	0,73
Média	337,89	1601,22	3413,33	4,04
CV(%)	67,58	320,24	682,666	0,808

Observou-se que a área foliar apresentou redução conforme o aumento das doses de silício até 9,08 mL L<sup>-1</sup>, com posterior incremento até a dose de 18,16 mL L<sup>-1</sup>, atingindo área foliar máxima de 3591,15 cm<sup>2</sup> com a aplicação de 0,26 mL L<sup>-1</sup> (Figura 3A). O diâmetro longitudinal do bulbo também apresentou o mesmo comportamento, apresentando o maior diâmetro longitudinal de 32,45 mm nas plantas que receberam 0,24 mL L<sup>-1</sup> de silício (Figura 3B).

A massa fresca do bulbo e o diâmetro do bulbo apresentaram redução conforme o aumento das doses de silício até 9,08 mL L<sup>-1</sup>, entretanto, ao aumentar o Si a partir dessa dose houve aumento para essas variáveis. Os maiores valores para massa fresca do bulbo (Figura 3C) e diâmetro do bulbo (Figura 3D) foram obtidos quando as plantas receberam aplicação de 0,23 mL L<sup>-1</sup> e 0,26 mL L<sup>-1</sup>, obtendo-se 32,60 g e 30,06 mm.

A fluorescência inicial e fluorescência máxima tiveram aumento até a dose de 9,08 mL L<sup>-1</sup>, apresentando redução a partir dessa dose, de forma que os maiores valores foram observados com a aplicação de 9,08 mL L<sup>-1</sup>, correspondendo aos valores de 71,63 (Figura 3E) e 323,75 (Figura 3F).



**Figura 3:** Efeito de doses de silício sobre a área foliar (A), diâmetro longitudinal dos bulbos (B), massa fresca do bulbo (C), diâmetro do bulbo (D), fluorescência inicial e fluorescência máxima (E) de plantas de beterraba.



As doses de silício não influenciaram as variáveis analisadas (Tabela 4). Contudo a dose de 9,08 ml L<sup>-1</sup> promoveu maiores conteúdos de clorofila *a*, *b* e total e a maior dose (18,16 ml L<sup>-1</sup>) proporcionou maior fluorescência variável da clorofila *a* (Fv) e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm), indicando que o Si pode atenuar o efeito do estresse salino, em virtude do aumento de pigmentos fotossintéticos.

Embora não tenha apresentado efeito significativo as seguintes variáveis: altura da planta (alt), largura da folha (Lf), comprimento da folha (Lf), número de folhas (Nf), teores de clorofila A (Cl *a*), clorofila B (Cl *b*), clorofila total (Cl total), relação clorofila *a/b* (Cl *a/b*), fluorescência variável (Fv), eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm), massa fresca da folha (Mff), massa seca da folha (Msf), massa seca da raiz (MsR) e diâmetro transversal do bulbo (Dt) de plantas de beterraba com a aplicação de silício via solo. Os maiores valores nos conteúdos de clorofila *a*, *b* e total, fluorescência variável da clorofila *a* (Fv) e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) confirmam que o Si influencia diretamente sobre a fotossíntese e bioquímica das plantas. Em diversos trabalhos já foi evidenciado o efeito positivo do Si, como citam Bae et al. (2012), Tahir et al. (2012) e Yin et al. (2013), que verificaram o aumento da disponibilidade de Si tem resultado em incrementos no crescimento, aspectos fotossintéticos e bioquímicos das plantas.

Como observado no presente trabalho, diversos estudos comprovam que o Si promove maior crescimento e atividade fotossintética (BAE et al., 2012; TAHIR et al., 2012; YIN et al., 2013). Isso ocorre porque o Si torna as folhas mais eretas, possibilitando maior absorção de CO<sub>2</sub>, e consequentemente maior eficiência fotossintética e no teor de clorofila. O acúmulo de Si na superfície foliar pode ter promovido uma barreira física nas folhas das plantas de beterraba, atuando como um importante papel na regulação osmótica (HECKMAN, 2013; CANTUÁRIO et al., 2014).

**Tabela 4:** Médias referente à altura da planta (alt), largura da folha (Lf), comprimento da folha (Lf), número de folhas (Nf), teores de clorofila A (Cl *a*), clorofila B (Cl *b*), clorofila total (Cl total), relação clorofila *a/b* (Cl *a/b*), fluorescência variável (Fv), eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm), massa fresca da folha (Mff), massa seca da folha (Msf), massa seca da raiz (Msr) e diâmetro transversal do bulbo (Dt) de plantas de beterraba sob aplicação de silício via solo.

Si (mL L <sup>-1</sup> )	Alt (cm)	Lf (m <sup>2</sup> )	Cf (m <sup>2</sup> )	Nf	Cl <i>a</i>	Cl <i>b</i>	Cl total
0,00	26,058	59,558	98,900	10,250	35,058	18,875	53,933
2,64	27,063	58,908	101,104	10,083	36,025	18,188	54,213
9,08	25,820	54,889	90,836	9,944	36,803	19,311	56,114
15,52	26,250	57,500	128,438	10,083	35,842	17,388	53,229
18,16	26,433	58,425	101,083	10,083	35,058	17,033	52,092
Média	131,624	289,28	520,361	50,443	178,786	90,795	269,581
CV(%)	26,325	57,856	104,072	10,088	35,757	18,159	53,916
Si (mL L <sup>-1</sup> )	Cl <i>a/b</i>	Fv	Fv/Fm	Mff (g)	Msf (g)	Msr (g)	Dt (mm)
0,00	2,018	222,25	0,8018	31,777	10,596	0,178	57,393
2,64	2,123	233,63	0,7953	30,224	10,662	0,164	55,400
9,08	2,020	235,75	0,7780	26,572	9,897	0,139	51,034
15,52	2,164	198,50	0,6953	27,722	10,033	0,186	53,311
18,16	2,253	238,00	0,8191	26,480	7,791	0,112	50,745
Média	10,578	1128,13	3,8895	142,775	48,979	0,779	267,883
CV(%)	2,116	225,626	0,7779	28,555	9,796	0,1558	53,577

## CONCLUSÃO

O aumento da condutividade elétrica na água de irrigação reduz o crescimento e produção de beterraba, mas os índices de clorofila, produção de biomassa e fluorescência não são influenciados pela irrigação com águas salinas;

A aplicação de silício via solo promove incremento no crescimento e na fluorescência da clorofila *a*, entretanto, não reduz o efeito nocivo do estresse salino;

A condutividade elétrica na água de irrigação acima de 0,50 dS m<sup>-1</sup> é suficiente para afetar negativamente o cultivo de beterraba e a dose de 9,08 mL L<sup>-1</sup> de silício é a mais recomendada para aplicação.

## REFERÊNCIAS

- Bae, E. J., K. S. Lee, M. R. Huh, C. S. Lim. 2012. Silicon significantly alleviates the growth inhibitory effects of NaCl in salt-sensitive 'Perfection' and 'Midnight' Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.). *Hortic. Environ. Biotechnol.*, 53(6), 477-483. Doi: 10.1007/s13580-012-0094-3.
- Bernardo, S., A. A. Soares, I. E. C. Mantovan. 2008. Manual de Irrigação. 8. ed. Viçosa: Ed. UFV. 625p.
- Castellanos, C. I., M. P. D. Rosa, C. Deuner, A. Bohn, A. C. Barros, G. E. Meneghello. 2016. Aplicação ao solo de cinza de casca de arroz como fonte de silício: efeito na qualidade de sementes de trigo produzidas sob stresse salino. *Rev. Ciênc. Agrár.*, 39(1), 95-104. Doi: 10.19084/RCA15011.
- Cody, R. 2015. An introduction to SAS. Cary: SAS Institute.
- Dias, N.S., F. F. Blanco. 2010. Efeito dos sais no solo e na planta. In: Gheyi, H.R, N.S. Dias, C. F. Lacerda. (Eds). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza. INCT Sal. 472 p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2014. Sistema Brasileiro de Classificação de Solo. 4. ed.. Brasília. DF: Embrapa Solos. 376 p.
- Filgueira, F. A. R. 2008. Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2.ed. Viçosa: UFV. 412 p.
- Fraire-Velázquez, S., V. E. Balderas-Hernández. 2013. Abiotic stress in plants and metabolic responses. In: Vahdati. K.. C. Leslie. (org.). Abiotic Stress-Plant Responses and Applications in Agriculture. p. 25-48.
- Huang, Z., X. Long, L. Wang, J. Kang, Z. Zhang, R. Zed, Z. Liu. 2012. Growth, photosynthesis and H<sup>+</sup>-ATPase activity in two Jerusalem artichoke varieties under NaCl-induced stress. *Process Biochem.*, 47(4), 591-596. Doi: 10.1016/j.procbio.2011.12.016.
- IPA - Instituto Agronômico de Pernambuco. 2008. Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco: 2º aproximação. 3.ed. Recife: Instituto Agronômico de Pernambuco. IPA. 212p.
- Lima, G. S., R. G. Nobre, H. R. Gheyi, L. A. Anjos Soares, A. O. Silva. 2014. Cultivo da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. *Eng. Agríc.*, 34(5), 854-866.
- Mantovani, E. C., S. Bernardo, L. F. Palaretti. 2009. Irrigação: princípios e métodos. Viçosa: UFV. 355p.
- Mateus, N. B., D. Barbin, A. Conagin. 2001. Viabilidade de uso do delineamento composto central. *Acta Sci. Agron.*, 23 (6), 1537-1546. Doi: 10.4025/actascitechnol.v23i0.2795.

- Oliveira, A. M. P., A. D. Oliveira, N. D. S. Dias, M. Freitas, K. D. Silva. 2012. Cultivo de rabanete irrigado com água salina. *Rev. Verde Agroec. Des. Sust.*, 7, 01-05.
- Pedrotti, A., R. M. Chagas, V. C. Ramos, A. P. Nascimento Prata, A. A. T. Lucas, P. B. Santos. 2015. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Rev. Elet. Gest., Ed. Tec. Amb.*, 19(2), 1308-1324.
- Reis, M., J. R. M. Figueiredo, R. Paiva, D. P. Silva, C. V. N. Faria, L. Rouhana. 2016. Salinity in rose production. *Ornam. Hortic.*, 22(2), 228-234. Doi: 10.14295/oh.v22i2.904.
- Richards, L. A. 1954. Diagnóstico e rehabilitación de suelos salinos e sódicos. México: Editorial Limusa. 172/p.
- Sahebi, M., M. M. Hanafi, P. Azizi, P. 2016. Application of silicon in plant tissue culture. In *Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant*, 52(3), 226-232. Doi: 10.1007/s11627-016-9757-6.
- Santos, D. P., C. S. Santos, P. F. Silva, M. P. M. A. Pinheiro, J. C. Santos. 2016. Crescimento e fitomassa da beterraba sob irrigação suplementar com água de diferentes concentrações salinas. *Ceres*, 63(4), 10.1590/0034-737X201663040011.
- Shi, Y., Y. Wang, T. J. Flowers, H. Gong. 2013. Silicon decreases chloride transport in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions. *J. Plant Physiol.*, 170(9), 847-853. Doi: 10.1016/j.jplph.2013.01.018.
- Silva, A. O. D., A. E. Klar, E. F. D. F. Silva, A. A. Tanaka, S. Junior, F. Josué. 2013. Relações hídricas em cultivares de beterraba em diferentes níveis de salinidade do solo. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.*, 17 (10), 1143-1151.
- Silva, A. O. D., Silva, Ê. F., & Klar, A. E. (2015). Manejo da fertirrigação e salinidade do solo no crescimento da cultura da beterraba. *Eng. Agríc.*, 35 (2), 230-241. Doi: 10.1590/1809-4430-Eng.Agríc.v35n2p230-241/2015.
- Simões. W. L., M. A. Souza, J. E. Yuri, M. M. Guimarães, V. H. Gomes. 2016. F. Desempenho de cultivares de beterrabas submetidas a diferentes lâminas de irrigação no Submédio São Francisco. *Water Res. Irrig. Managem.*, 5(2), 51-57.
- Syvertsen, J.P., F. Garcia-Sanchez. 2014. Multiple abiotic stresses occurring with salinity stress in citrus. *Environ Exp Bot.*, 103 (1), 128-137. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2013.09.015.
- Tahir, M. A., T. Aziz, M. Farooq, G. Sarwar. 2012. Silicon-induced changes in growth, ionic composition, water relations, chlorophyll contents and membrane permeability in two salt-stressed wheat genotypes. *Arch. Agron. Soil Sci.*, 58(3), 247-256. Doi: 10.1080/03650340.2010.518959.
- Yin, L., S. Wang, J. Li, K. Tanaka, M. Oka. 2013. Application of silicon improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of *Sorghum bicolor*. *Acta Physiol. Plant.*, 35(11), 3099-3107. Doi: 10.1007/s11738-013-1343-5.

**Artigo III:**

**Qualidade pós-colheita de beterraba na aplicação de silício e irrigada com diferentes águas salinas**

## Qualidade pós-colheita de beterraba na aplicação de silício e irrigada com diferentes águas salinas

### RESUMO

A beterraba é uma das hortaliças mais ricas em nutrientes (compostos bioativos, ácido fólico e potássio). Entretanto, são escassos os estudos sobre a qualidade pós-colheita dessa cultura sob condições de irrigação com águas salinas, e, em virtude disso, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de águas salinas e aplicação de silício na qualidade pós-colheita de beterraba. Foram conduzidos dois experimentos com o objetivo de avaliar duas formas de aplicação de silício: via foliar (experimento 1) e via solo (experimento 2) e sua influência como possível atenuante do estresse salino. Em ambos os experimentos foi adotado o delineamento experimental em blocos casualizados, em fatorial 5 x 5, referente a cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEa): (0,5; 1,3; 3,25; 5,2 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>) e cinco doses de silício (0,00; 2,64; 9,08; 15,52 e 18,16 mL L<sup>-1</sup>), combinadas segundo a matriz experimental Composto Central de Box, totalizando 10 tratamentos, com quatro repetições e três plantas por parcela. As variáveis avaliadas na irrigação com água de 6,0 dS m<sup>-1</sup> promove melhor qualidade do tubérculo da beterraba. As adubações com silício aplicado via solo e foliar, melhoraram a qualidade pós-colheita da beterraba.

**Palavras-chave:** *Beta vulgaris* L., silicato de potássio, estresse salino, pós-colheita.

## ABSTRACT

Beet is one of the vegetables richest in nutrient (bioactive compounds, folic acid and potassium). However, there are few studies on postharvest quality from the crop under irrigation conditions with saline waters, and because of that, the objective of this study was to evaluate effect of saline waters and silicon application in the preharvest on physicochemical quality of the beet. Two experiments were conducted with the objective of evaluating two forms of silicon application: via foliar (experiment 1) and via soil (experiment 2) about its influence in mitigating salt stress. In both experiments was adopted a randomized design with blocks in a 5 x 5 factorial, referring to five levels of electrical conductivity of the irrigation water (EC<sub>w</sub>): (0.5, 1.3, 3.25, 5.2 and 6.0 dS m<sup>-1</sup>) five doses of silicon (0.00; 2.64; 9.08; 15.52 and 18.16 mL L<sup>-1</sup>), they were combined according to the experimental matrix Central composite of Box totaling 10 treatments, with four replicates and three plants per plot. Irrigation with water of 6.0 dS m<sup>-1</sup> promotes better quality beet tuber. The fertilization on preharvest with silicon via soil or foliage improved postharvest quality of beet.

**Keywords:** *beta vulgaris* L.; potassium silicate; salt stress.

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a salinização dos solos vem sendo uma das principais preocupações agrícolas, especialmente em regiões áridas e semiáridas (Silva et al., 2013), visto que nessas regiões além da baixa precipitação e irregularidade pluviométrica, há ainda baixa disponibilidade de água de qualidade para irrigação, fazendo com que os agricultores utilizem águas salinas (PEDROTTI et al., 2015), como no caso de produtores de hortaliças, especialmente da beterraba (Sousa et al., 2018).

Embora interfira negativamente no crescimento e desenvolvimento das culturas, estudos apontam que a salinidade promove maior qualidade pós-colheita de frutas e hortaliças, a exemplo de Costa et al. (2013), trabalhando com melancia, verificaram que o aumento nas condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) de 2,77 a 4,91 dS m<sup>-1</sup> elevou o teor de sólidos solúveis. Em pepino, Medeiros et al. (2010) também constataram aumento no teor de sólidos solúveis e acidez titulável. O mesmo foi observado na cultura do tomate, onde Paiva et al. (2018) verificaram que a utilização de águas com salinidade entre 2,0 e 3,5 dS m<sup>-1</sup> aumenta a qualidade do tomate pelo aumento da razão SS/AT.

Por outro lado, apesar do aumento da qualidade de frutas e hortaliças com o uso da irrigação com águas salinas, a produtividade das culturas é reduzida sob condições de salinidade. Observa-se limitações no crescimento em virtude da interação dos sais com nutrientes presentes no solo, promovendo desequilíbrios nutricionais na planta (YADAV et al., 2011; SHAHZAD et al., 2012). Assim, o acúmulo de íons nos tecidos por longos períodos pode causar injúrias e a morte da planta (HASANUZZAMAN et al., 2013).

Uma das estratégias para atenuar os efeitos deletérios dos sais é a aplicação de substâncias que atenuem esses efeitos, umas delas é o silício (ASHRAF et al., 2010; PARVEEN e ASHRAF, 2010; ALI et al., 2012; MENDONÇA et al., 2013; ZHU & GONG, 2014). Apesar de ser considerado elemento não-essencial, o silício é um elemento benéfico, que apresenta a capacidade de reduzir o impacto de agentes estressores (SHI et al., 2013).

Estudos apontam que o fornecimento de silício aumenta o crescimento das culturas, uma vez que esse elemento atua indiretamente sobre alguns aspectos fotossintéticos e bioquímicos, principalmente em plantas sob algum tipo de estresse (Tahir et al., 2012; Bae et al., 2012; Yin et al., 2013). Além disso, o incremento na qualidade pós-colheita de hortaliças



com a aplicação de silício já foi verificado, como em alface (Galati et al., 2015) e morango (Silva et al., 2013).

Entretanto, são escassos os estudos visando o efeito da irrigação com águas salinas sobre a qualidade pós-colheita do tubérculo da beterraba, e, em virtude disso, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de águas salinas e aplicação de silício na qualidade pós-colheita de beterraba.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação localizada no setor de Fruticultura, pertencente à Universidade Federal da Paraíba, município de Areia-PB, situada nas coordenadas geográficas 6°51'47" e 7°02'04" latitude Sul e longitude Oeste 35°34'13" e 35°48'28" do meridiano de Greenwich.

Estes foram conduzidos com o objetivo de avaliar duas formas de aplicação de silício que foram avaliadas via foliar (experimento 1) e via solo (experimento 2) e sua influência como possível atenuante do estresse salino. O experimento 1 foi conduzido de agosto a outubro de 2017 e o experimento 2 de janeiro a março de 2018. Nos experimentos foram adotados o delineamento experimental em blocos casualizados, em fatorial 5 x 5, combinadas segundo a matriz experimental Composto Central de Box (Matheus et al., 2011), referente a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e doses de silício (Si), com valores mínimos (-  $\alpha$ ) e máximos ( $\alpha$ ), respectivamente de 0,5; 1,3; 3,25; 5,2, 6,0 dS m<sup>-1</sup> e 0,00; 2,64; 9,08; 15,52, 18,16 mL L<sup>-1</sup>, totalizando dez tratamentos, com quatro repetições e três plantas por parcela.

As mudas de beterraba da cv. Maravilha foram produzidas em bandejas e plantadas em vasos de 22 cm de diâmetro superior, 16 cm de diâmetro inferior e 18 cm de altura, com capacidade volumétrica de 8 dm<sup>3</sup>, e com furos circulares de 1 cm de diâmetro em sua face inferior, com a finalidade de permitir melhor aeração das raízes e percolação do excesso de água.

Os vasos foram preenchidos com solo de horizonte A, coletado na profundidade de 0-20 cm, classificado como Planossolo Háplico Eutrófico êndico (Embrapa 2014), as características químicas e físicas (Tabela 1) foram analisadas de acordo com a metodologia da EMBRAPA (2009) e da EMBRAPA (2014), respectivamente. O solo foi previamente secado

ao ar e devidamente homogeneizado, sendo colocado nos vasos acomodados previamente com tela (tecido tule) e 200 g de brita, para evitar a saída de solo dos vasos por seus orifícios inferiores.

**Tabela 1.** Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento.

Atributos químicos		Atributos físicos	
pH em água	6,26	Ds (g cm <sup>-3</sup> )	1,38
P (mg dm <sup>-3</sup> )	11,35	Dp (g cm <sup>-3</sup> )	2,67
K <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	40,00	PT (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0,48
Na <sup>+</sup> (cmol dm <sup>-3</sup> )	0,22	CC (g g <sup>-1</sup> )	78,00
H+Al (cmol dm <sup>-3</sup> )	1,82	PMP (g g <sup>-1</sup> )	43,00
Al <sup>+3</sup> (cmol dm <sup>-3</sup> )	0,00	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	756,90
Ca <sup>+2</sup> (cmol dm <sup>-3</sup> )	3,00	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	59,10
Mg (cmol dm <sup>-3</sup> )	1,90	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	184,00
SB (cmol dm <sup>-3</sup> )	5,22	-	-
CTC (cmol dm <sup>-3</sup> )	7,03	-	-
V (%)	74,34	-	-
M (%)	0,00	-	-
MO (g Kg <sup>-1</sup> )	17,53	Classificação textural	Franco arenosa

SB = (Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup> + Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>); CTC = SB + (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>); V = (100 x SB/CTC); MO = matéria orgânica. Ds = densidade do solo; Dp = Densidade de partícula; Pt = Porosidade total; (1-(Ds/Dp) \*100) CC = Umidade volumétrica na capacidade de campo, - 0,033 Mpa; PMP = Umidade volumétrica no ponto de murcha permanente - 1,5 Mpa.

As plantas foram irrigadas diariamente elevando-se, no início, a umidade do solo em torno de 80% da capacidade de campo (CC). As diferentes CEa foram obtidas pela utilização dos sais de NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O, na proporção de 7:2:1 (MEDEIROS, 1992) conforme características apresentadas na Tabela 2. A irrigação com as fontes de água de diferentes salinidades foi iniciada 10 dias após a emergência. No primeiro DAE, a lâmina foi calculada pela equação proposta por Mantovani et al. (2009). A irrigação total necessária (ITN), em mm, foi calculada pela equação de Bernardo et al. 2008, considerando 100% de eficiência de aplicação da irrigação.

**Tabela 2.** Características químicas das águas utilizadas no experimento

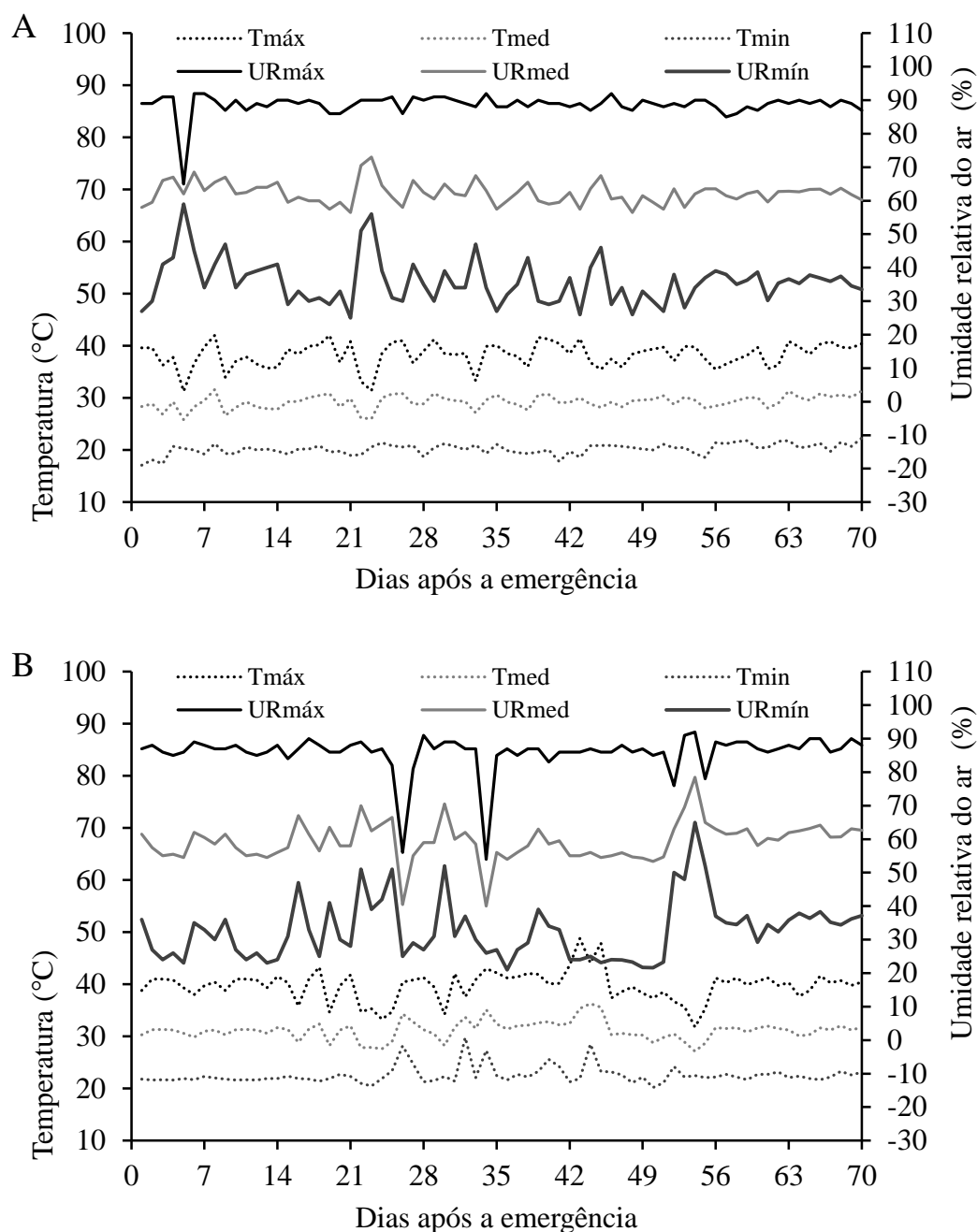
Atributos	Condutividade Elétrica (dS m <sup>-1</sup> )				
	0.50	1.30	3.25	5.20	6.00
	Valores				
pH	7.00	7.50	7.40	7.30	7.40
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	3.22	3.70	3.67	3.35	3.90
Mg <sup>2+</sup>	1.33	1.78	1.93	2.03	2.98
Na <sup>+</sup>	1.70	5.92	12.57	20.5	24.20
K <sup>+</sup>	0.20	0.21	0.20	0.20	0.21
Ca <sup>2+</sup>	0.73	1.58	1.78	1.88	2.53
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.75	3.50	4.00	4.25	4.25
Cl <sup>-</sup>	3.40	10.90	30.40	48.90	58.15
RAS (mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>0.5</sup>	1.28	1.87	2.60	3.23	2.96
Classificação	<i>C2S1</i>	<i>C3S3</i>	<i>C4S4</i>	<i>C4S4</i>	<i>C4S4</i>

C.E. - condutividade elétrica. RAS - relação de adsorção de sódio; PST – percentagem de sódio trocável; CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> = Ausente.

O silício foi aplicado sob a forma de silicato de potássio (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>), líquido, com 12% Si e 15% de K<sub>2</sub>O. No primeiro experimento, as doses de Si foram aplicadas através de um pulverizador manual e no segundo experimento a aplicação foi realizada diretamente nos vasos. Nestes experimentos, houve compensação de K<sub>2</sub>O via foliar e via solo, nas aplicações utilizadas nas beterrabas objetivando o fornecimento da mesma quantidade de potássio para todas as plantas. A dose de silício foi 77 ml L<sup>-1</sup> que equivale a 0,77 ml por vasos, dividido por 7 aplicações de (Si) vezes o total de vasos distribuídos aos tratamentos e diluídas em água destilada, sendo posteriormente 50 ml dessa solução aplicada via foliar e via solo em beterrabas.

As dosagens com silício via foliar na cultura de beterraba foram as seguintes: D0 = 0,00 sem silício, sendo 50 ml; D1 = 0,77 ml por vasos dividido por 7 aplicações de (Si) equivale a (0,11 ml\vasos x 24 vasos) igual a 2,64 ml de silício; D2 = 2,648 ml por vasos dividido por 7 aplicações de (Si) equivale a (0,378 ml\vasos x 24 vasos) igual a 9,08 ml de silício; D3 = 4,526 ml por vasos dividido por 7 aplicações de (Si) equivale a (0,646 ml\vasos x 24 vasos) igual a 15,52 ml de silício e a D4 = 5,296 ml por vasos dividido por 7 aplicações de (Si) equivale a (0,756 ml\vasos x 24 vasos) igual a 18,16 ml de silício.

Durante a condução dos experimentos foram registrados diariamente os dados atmosféricos (Figura 1) com termohigrômetro digital HT-600 Instrutherm<sup>®</sup>, instalado no interior da área experimental, à altura das plantas. Em ambos os experimentos os valores climáticos médios de temperatura foram próximos da faixa considerada ideal (25°C) durante o ciclo da cultura, segundo Filgueira (2008).



**Figura 1.** Umidade relativa do ar e temperatura no período de condução dos experimentos, experimento 1 (A) e experimento 2 (B). Temperaturas do ar máximas (Tmáx), médias (Tmed) e mínimas (Tmin) em °C; umidade relativa do ar máximas (URmáx), médias (URmed) e mínimas (URmin) em %.

A adubação de plantio e cobertura foi feita com 40, 180 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de NPK, respectivamente, com ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, de acordo com a análise química do solo e recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (IPA 2008). Realizaram-se durante a condução do experimento controles fitossanitários de pragas e de plantas daninhas manualmente.

Após a colheita, realizadas aos 70 dias após o transplantio, foram avaliadas as seguintes características: massa seca do bulbo, pH, acidez titulável, sólidos solúveis totais, relação SST/AT e cinzas. A massa da matéria seca foi obtida após a pesagem do bulbo em balança analítica, após a secagem em estufa a 65°C; o pH foi mensurado com peagâmetro de bancada; a acidez titulável (g polpa 100 g<sup>-1</sup> ácido cítrico), por titulação do suco com solução de NaOH a 0,1 M; teor de sólidos solúveis, determinado com refratômetro digital; a relação SST/AT foi através da divisão; para determinação de cinza foi adotada a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008), a partir da incineração em mufla por 6 horas á temperatura de 550°C.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão polinomial, e para as avaliações repetidas no tempo utilizou-se o modelo misto (MIXED), utilizando-se o software estatístico SAS<sup>®</sup> University (Cody, 2015).

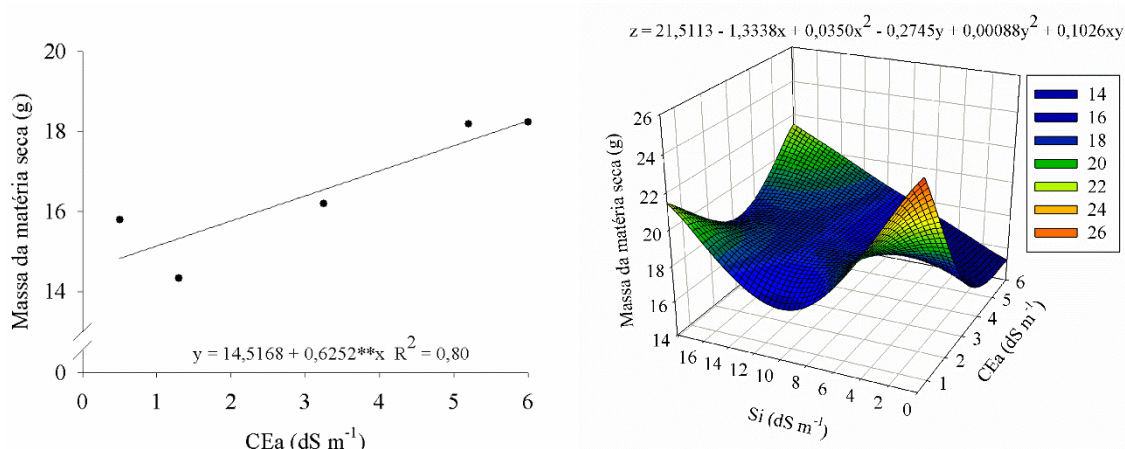
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo para a interação salinidade x silício (Si) aplicado via solo para a massa da matéria seca e acidez titulável. As condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) e as doses de Si via foliar e via solo influenciaram significativamente as variáveis analisadas, exceto o pH, sólidos solúveis totais, relação SST/AT, cinzas e acidez titulável que não foram influenciadas pelas CEa e nem pelas doses de Si via solo e foliar.

O aumento da salinidade na água de irrigação promoveu incremento linear na massa da matéria seca do bulbo de beterraba, apresentando valores máximos nas plantas irrigadas com águas de 5,2 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>, obtendo-se até 18 g. As plantas irrigadas com águas salinas de 1,3 dS m<sup>-1</sup> tiveram a menor massa de matéria seca do bulbo, obtendo-se 14,2 g, redução de 21,11% nas plantas irrigadas com água de 0,5 dS m<sup>-1</sup> comparadas com aquelas sob 5,2 e 6,0 dS m<sup>-1</sup> (Figura 2A).

A massa da matéria seca apresentou redução com o incremento da salinidade da água e com as doses de silício via solo, de forma que os maiores valores foram obtidos quando as plantas foram irrigadas com água de baixa salinidade (0,5 dS m<sup>-1</sup>) e sem aplicação de silício (0 ml L<sup>-1</sup>), obtendo 23 g de massa da matéria seca do bulbo. Ao aumentar os valores da CEa e

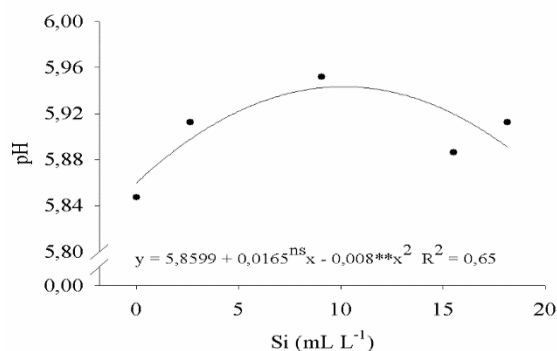
as doses de silício houve redução até  $5,2 \text{ dS m}^{-1}$  e  $9,08 \text{ mL L}^{-1}$ , nesta ordem, com posterior acréscimo até a dose de  $18,16 \text{ mL L}^{-1}$  de silício (Figura 2B).



**Figura 2:** Efeito da condutividade elétrica da água de irrigação (A) e das doses de silício aplicadas via solo (B) na matéria seca do bulbo de beterraba

O pH da polpa da beterraba se ajustou ao modelo quadrático de regressão, com acréscimo em função do incremento nas doses de Si via foliar; os valores de pH foram elevados até 5,94 referentes a dose ótima estimada de  $9,08 \text{ mL L}^{-1}$  (Figura 3). As doses de Si acima de  $9,08 \text{ mL L}^{-1}$  reduziram o pH da polpa da beterraba até a dose de  $15,52 \text{ mL L}^{-1}$  com posterior aumento até  $18,16 \text{ mL L}^{-1}$ . Os valores encontrados no presente trabalho são considerados baixos. O pH funciona como um indicativo de sabor de uma hortaliça, tendo relação inversa à acidez (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Estes resultados corroboram aos obtidos por Korkmaz et al. (2017) em tomate, os quais observaram que o aumento na CEA de  $0,5$  para  $4,4 \text{ dS m}^{-1}$  promoveram acréscimo do pH da polpa dos frutos. Paiva et al. (2018) também verificaram que o pH da polpa de tomate aumentou com o incremento da salinidade da água de irrigação, com valor máximo de  $4,8$  nas plantas sob  $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ .



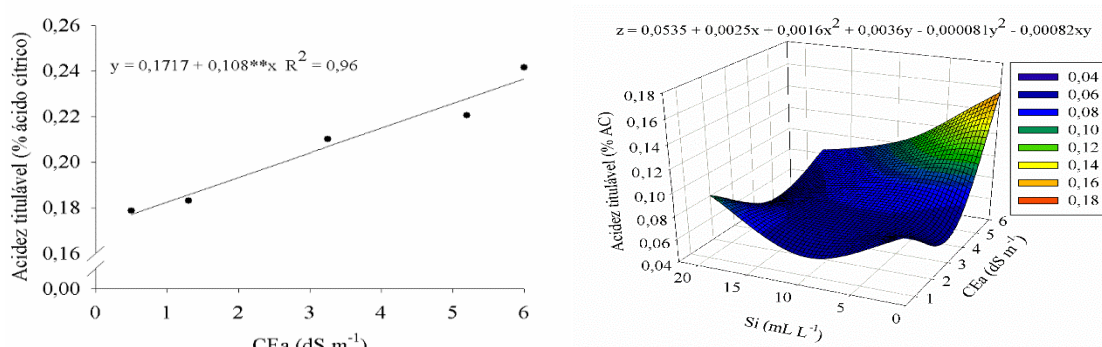
**Figura 3:** Efeito de doses de silício via foliar no pH da polpa da beterraba

Observou-se que o incremento na CEa promoveu acréscimo na acidez titulável da polpa da beterraba, de forma que, as plantas submetidas à maior CEa ( $6,0 \text{ dS m}^{-1}$ ) apresentaram a maior acidez titulável ( $0,23 \text{ g}$  de ácido cítrico) e as plantas irrigadas com água de menor CEa ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) obtiveram a menor acidez titulável ( $0,17 \text{ g}$  de ácido cítrico), redução de 29,16%, comparativamente (Figura 4A).

À medida que aumentou a concentração de sais na água irrigada verificou-se que a acidez titulável de  $0,08 \text{ g}$  de ácido cítrico sob  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$  acrescentou  $0,16 \text{ g}$  de ácido cítrico nas polpas das beterrabas irrigadas com água de maior salinidade, aumentando até 50%. Dantas et al. (2018) também constataram que a acidez titulável do melão teve incremento com o aumento da salinidade da água de irrigação, os quais observaram incremento de 0,107% de ácido cítrico nas CEa de  $0,49$  e  $1,75 \text{ dS m}^{-1}$ , entretanto, os autores observaram ainda que a partir dessas salinidades a acidez titulável reduziu 4,7 % quando se elevou a salinidade da água até  $2,4 \text{ dS m}^{-1}$ .

Por outro lado, verifica-se que o incremento nas doses de Si reduziu a acidez titulável da polpa da beterraba até a dose de Si de  $9,08 \text{ mL L}^{-1}$  com posterior incremento até atingir a dose máxima ( $18,16 \text{ mL L}^{-1}$ ), obtendo-se  $0,10 \text{ g}$  de ácido com a aplicação desta (Figura 4B). Esse comportamento também foi verificado por Galati et al. (2015) em alface, o qual observaram que o tratamento com  $28 \text{ mg L}^{-1}$  de silício, obteve  $140 \text{ mg}$  de ácido cítrico  $100 \text{ g}^{-1}$  de matéria fresca, sendo maior que nas plantas do controle que apresentou valores médios de  $114 \text{ mg}$  de ácido cítrico  $100 \text{ g}^{-1}$ .

O aumento na acidez titulável da polpa da beterraba em função das doses de silício corroboram aos dados obtidos por Silva et al. (2013) em morangueiro, no qual os maiores valores para acidez titulável foi com a aplicação do Si via foliar, em que obtiveram  $1,19 \text{ mg}$  de ácido cítrico  $100 \text{ g}^{-1}$  com a aplicação de  $69 \text{ mg kg}^{-1}$  de Si, e via solo o maior valor foi de  $1,13 \text{ mg}$  de ácido cítrico  $100 \text{ g}^{-1}$ , com a aplicação  $97,5 \text{ mg kg}^{-1}$  de Si.

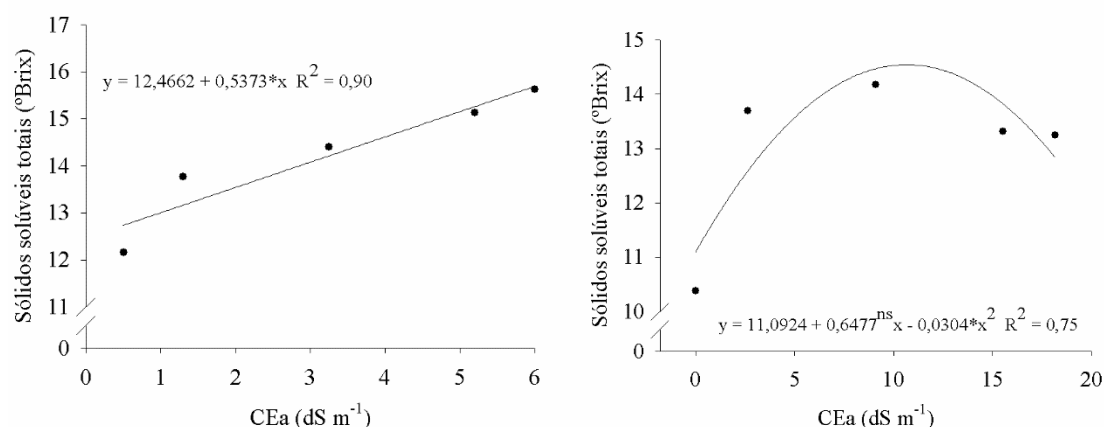


**Figura 4:** Efeito da condutividade elétrica da água de irrigação e doses de de silício aplicados via foliar (A) e via solo (B) na acidez titulável de beterraba

Houve aumento no teor de sólidos solúveis da polpa quando as plantas de beterraba foram irrigadas com águas salinas e aplicação de silício, tanto no experimento I (Figura 5A) como no experimento II (Figura 5B). No experimento I, os dados se ajustaram ao modelo linear crescente, de forma que o incremento na CEa promoveu acréscimo no teor de sólidos solúveis, em que o valor máximo de 15,7° Brix foi obtido nas plantas irrigadas com água de 6,00 dS m<sup>-1</sup> (Figura 5A). No experimento II, os dados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão, onde o valor máximo no teor de sólidos solúveis foi obtido nas plantas que receberam 9,08 mL L<sup>-1</sup> de silício, obtendo-se 14,3° Brix (Figura 5B).

Resultados semelhantes foram observados por Costa et al. (2013) em melão, ao verificarem que o incremento na salinidade na água de irrigação de 2,77 para 4,91 dS m<sup>-1</sup> promoveu aumento no teor de sólidos solúveis da cultivar ‘Shadow’, elevando os valores de sólidos solúveis de 3,58 para 5,08%, respectivamente. Medeiros et al. (2008) também verificaram que o incremento salino na água de irrigação aumenta o teor de sólidos solúveis em pepino.

O aumento do teor de sólidos solúveis na polpa da beterraba com o aumento da salinidade da água pode ter sido ocasionado pelo incremento na concentração de fotoassimilados (solutos), pois o acréscimo nos sólidos solúveis se deve principalmente aos efeitos deletérios dos sais que reduzem o peso médio dos bulbos, mas aumenta os sólidos solúveis (Pereira et al., 2017).



**Figura 5:** Efeito da condutividade elétrica na água de irrigação (A) e aplicação de silício via solo (B) nos teores de sólidos solúveis da polpa da beterraba



## CONCLUSÃO

O uso de água com condutividade elétrica de  $6,0 \text{ dS m}^{-1}$  promove melhor qualidade do tubérculo da beterraba;

As adubações com silício aplicado via solo e foliar, melhoraram a qualidade pós-colheita da beterraba.

## REFERÊNCIA

ALI, A. et al. Increased growth and changes in wheat mineral composition through calcium silicate fertilization under normal and saline field conditions. *Chilean Journal of Agricultural Research*, v. 72, n. 1, p. 98-103, 2012.

ASHRAF, M. et al. Alleviation of detrimental effects of NaCl by silicon nutrition in salt-sensitive and salt-tolerant genotypes of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Plant Soil*, v. 326, p. 381-391, 2010.

BAE, E.J. et al. Silicon significantly alleviates the growth inhibitory effects of NaCl in salt-sensitive ‘Perfection’ and ‘Midnight’ Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.). *Horticulture Environment and Biotechnology*, v.53, p.477-483, 2012.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005.

CODY, R. *An introduction to SAS*. Cary: SAS Institute, 2015.

COSTA, A.R.F.C. et al. Produção e qualidade de melancia cultivada com água de diferentes salinidades e doses de nitrogênio. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, v.17, n.9, p.947-954, 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solo*. 4. ed., Brasília, DF: Embrapa Solos, 376 p. 2014.

FILGUEIRA, F. A. R. *Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 2.ed. Viçosa: UFV, 412 p. 2008.

GALATI, V. C. et al. Aplicação de silício, em hidroponia, na conservação pós-colheita de alface americana ‘Lucy Brown’ minimamente processada. *Revista Ciência Rural*, v. 3, n. 4, p. 34-39, 2015.

HASANUZZAMAN, M. et al. Plant Response to Salt Stress and Role of Exogenous Protectants to Mitigate Salt-Induced Damages. In: AHMAD, P. et al. (eds.), *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress*. 25-87p. 2013.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. *Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. 4. ed. Brasília: Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2005. 1018 p. (Série A – Normas e Manuais Técnicos).

IPA - Instituto Agrônomo de Pernambuco. *Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco*: 2º aproximação. 3.ed. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, IPA, 212p. 2008.

KORKMAZ, A. et al. The effects of  $\text{CaCl}_2$  on fruit yield, quality and nutrient contents of tomato under  $\text{NaCl}$  stress conditions. *Eurasian Journal of Soil Science*, v. 6, n. 1, p. 84-91, 2017.

MANTOVANI, E. C. et al. Irrigação: princípios e métodos. Viçosa: UFV, 355p. 2009.

Mateus, N. B. et al. Viabilidade de uso do delineamento composto central. *Acta Scientiarum*, vol. 23, n.6, p. 1537-1546, 2001.

MEDEIROS, J. F. et al. de. Manejo da irrigação e tolerância do meloeiro a salinidade da água de irrigação. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.3, p.242-247, 2008.

MEDEIROS, P. R. et al. Tolerância do pepino à salinidade em ambiente protegido: efeitos sobre propriedades físico-químicas dos frutos. *Irriga*, v. 15, n. 3, p. 301-311, 2010.

MENDONÇA, A.O. et al. Acúmulo de silício e compostos fenólicos na parte aérea de plantas de trigo após a adubação silicatada. *Bioscience Journal*, v.29, n.5, p.1154-1162, 2013.

PAIVA, F. I. G. et al. Qualidade de tomate em função da salinidade da água de irrigação e relações K/Ca via fertirrigação. *Irriga*, v. 23, n. 1, p. 168-193, 2018.

PARVEEN, N. & ASHRAF, M. Role of silicon in mitigating the adverse effects of salt stress on growth and photosynthetic attributes of two maize (*Zea mays* L.) cultivars grown hydroponically. *Pakistan Journal of Botany*, v.42, n.3, p.1675-1684, 2010.

PEDROTTI, A. et al. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PEREIRA, E. D. et al. Produção e qualidade do meloeiro sob osmocondicionamento da semente e níveis de salinidade da água. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 13, n. 1, p. 08-15, 2018.

PEREIRA, F. A. D. L. et al. Tolerance of melon cultivars to irrigation water salinity. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 21, n. 12, p. 846-851, 2017.

RICHARDS, L. A. *Diagnóstico e rehabilitación de suelos salinos e sódicos*. México: Editorial Limusa. 172 p, 1954.

SHAHZAD, M. et al. Growth-Related Changes in Subcellular Ion Patterns in Maize Leaves (*Zea mays* L.) under Salt Stress. *Journal Agronomy & Crop Science*, v.198, p.46-56, 2012.

SHI, Y. et al. Silicon decreases chloride transport in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions. *Journal of Plant Physiology*, v.170, p.847- 853, 2013.

SILVA, A. O. D. et al. Relações hídricas em cultivares de beterraba em diferentes níveis de salinidade do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.10, p.1143–1151, 2013.

SILVA, M. L. S. et al. Influência do silício na produção e na qualidade de frutos do morangueiro. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3411-3424, 2013.

TAHIR, M.A. et al. Silicon-induced changes in growth, ionic composition, water relations, chlorophyll contents and membrane permeability in two salt-stressed wheat genotypes. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v.58, p.247-56, 2012.

YADAV, S. et al. Causes of salinity and plant manifestations to salt stress: A review. *Journal of Environmental Biology*, v.32, p.667-685, 2011.

YIN, L.; WANG, S; LI, J. et al. Application of silicon improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of *Sorghum bicolor*. *Acta physiologiae plantarum*, v.35, p.1-9, 2013.

ZHU, Y. & GONG, H. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. *Agronomy for Sustainable Development*, v.34, n.2, p.455-472, 2014.

**Artigo IV:**

**Trocas gasosas de plantas de beterraba irrigadas com águas salinas e aplicação de silício**

## Trocas gasosas de plantas de beterraba irrigadas com águas salinas e aplicação de silício

### RESUMO

A utilização de águas salinas na agricultura é uma alternativa, especialmente em regiões com índices pluviométricos baixos, como o Nordeste Brasileiro. Entretanto, o estresse salino promove alterações fisiológicas nas plantas, podendo afetar negativamente a produtividade das culturas. Neste sentido, objetivou-se avaliar as trocas gasosas de plantas de beterraba irrigadas com águas salinas em função da aplicação de silício. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados 5 x 5, referente a cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEa): (0,5; 1,3; 3,25; 5,2 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>) e cinco doses de silício (0,00; 2,64; 9,08; 15,52 e 18,16 mL L<sup>-1</sup>), combinadas segundo a matriz experimental Composto Central de Box, com quatro repetições e três plantas por parcela. A irrigação com águas salinas causou danos ao aparelho fotossintéticos e reduziu os níveis de eficiência do fotossistema II a partir de 0,50 dS m<sup>-1</sup>. O incremento na salinidade da água de irrigação inibiu o potencial hídrico, a condutância estomática, a transpiração e a capacidade fotossintética nas folhas da beterraba nos períodos avaliados. A aplicação de silício promoveu maior atividade fotossintéticas das plantas de beterraba.

**Palavras-chave:** *Beta vulgaris* L., estresse salino, silicato de potássio, fotossíntese.

## ABSTRACT

The use of salt water in agriculture is an alternative, especially in regions with low rainfall, such as the Brazilian Northeast. However, saline stress promotes physiological changes in plants, and may negatively affect crop productivity. In this sense, the objective was to evaluate the gas exchange of beet plants irrigated with salt water as a function of the silicon application. The experiment was conducted in a randomized block design, in a 5 x 5 factorial, referring to five levels of electrical conductivity of the irrigation water: (0.5, 1.3, 3.25, 5.2 and 6, 0 dS m<sup>-1</sup>), and five doses of silicon (0.00, 2.64, 9.08, 15.52 and 18.16 mL L<sup>-1</sup>), combined according to the Experimental Central Composite Box matrix, with four replicates and three plants per plot. Irrigation with salt water caused damage to the photosynthetic apparatus and reduced the efficiency levels of photosystem II from 0.50 dS m<sup>-1</sup>. The increase in the salinity of the irrigation water inhibited the water potential, the stomatal conductance, the transpiration and the photosynthetic capacity in the beet leaves independent of the evaluated days. The application of silicon promoted greater photosynthetic activity of beet plants.

**Key words:** *Beta vulgaris* L., saline stress, potassium silicate, photosynthesis.

## INTRODUÇÃO

Um dos principais obstáculos para a produção agrícola em parte da região nordestina brasileira é a baixa e restrita precipitação pluviométrica, associada a elevadas taxas de evapotranspiração, resultando em balanço hídrico anual negativo. Além disso, a maior parte das águas disponíveis apresentam quantidades excessivas de sais, correspondendo a valores de condutividade elétrica acima de  $4 \text{ dS m}^{-1}$ , o que provoca comprometimento da absorção de água e causando efeitos tóxicos (Munns & Tester 2008; Taiz et al., 2017), dificultando diversos processos fisiológicos e bioquímicos (Prisco et al., 2016), e consequentemente, resultando em menor crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas (Nunes et al., 2012; Sá et al., 2013, 2015; Oliveira et al., 2017).

Diversos estudos já mostraram que a salinidade na água de irrigação provoca vários efeitos fitotóxicos às plantas, dentre eles a perda de atividade fotossintética, atribuída às limitações estomáticas e não estomáticas (FREIRE et al., 2014; SOUSA et al., 2016), as quais influenciam negativamente o crescimento e a produtividade das culturas (Tyerman et al., 2019).

Existem alternativas para reduzir os efeitos nocivos do estresse salino, a exemplo de substâncias atenuadoras, como o silício (Si), que apesar de não ser considerado elemento essencial para as plantas, apresenta efeitos benéficos no desenvolvimento dos vegetais (GUNTZER et al., 2012). Nos últimos anos, estudos têm mostrado que o Si pode aliviar os efeitos de estresses abióticos, como salinidade e seca (ALI et al., 2012; ZHU & GONG, 2014; SAHEBI et al., 2016). Além disso, sua presença pode proporcionar maior crescimento de muitas espécies de plantas (girassol, algodão e mamona) sob condições salinas (SILVA et al., 2009; FERRAZ et al., 2014; FERRAZ et al., 2015; FERNANDES et al., 2018).

Entretanto, em hortaliças são escassos os estudos sobre os efeitos do Si nas trocas gasosas, por isso, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de águas salinas e aplicação de silício nas trocas gasosas de plantas de beterraba.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de agosto a outubro de 2017 em casa de vegetação localizada no setor de Fruticultura, pertencente à Universidade Federal da Paraíba no município de Areia-PB, situada nas coordenadas geográficas 6°51'47" e 7°02'04" latitude Sul e longitude Oeste 35°34'13" e 35°48'28" do meridiano de Greenwich.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados 5 x 5, referente a cinco condutividades elétricas da água de irrigação (CEa): 0,5; 1,3; 3,25; 5,2 e 6,0 dS m<sup>-1</sup> e cinco doses de silício (0,00; 2,64; 9,08; 15,52 e 18,16 mL L<sup>-1</sup>), segundo a matriz experimental Composto Central de Box (Mateus et al., 2001), totalizando dez tratamentos, com quatro repetições e três plantas por parcela.

Mudas de beterraba da cv. Maravilha foram produzidas em bandejas e plantadas em vasos de 22 cm de diâmetro superior, 16 cm de diâmetro inferior e 18 cm de altura, com capacidade volumétrica de 8 dm<sup>3</sup> com furos circulares de 1 cm de diâmetro em sua face inferior, com a finalidade de promover melhor aeração e percolação do excesso de água.

Os vasos foram preenchidos com solo de horizonte A, coletado na profundidade de 0-20 cm, classificado como Planossolo Háplico Eutrófico êndico (Embrapa 2014), tendo as características químicas e físicas (Tabela 1) analisadas de acordo com a metodologia da EMBRAPA (2009) e da EMBRAPA (2014), respectivamente. O solo foi previamente secado ao ar e devidamente homogeneizado, sendo colocado nos vasos acomodados previamente com tela (tecido tule) e 200 g de brita.

**Tabela 1.** Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento.

Atributos químicos		Atributos físicos	
pH	6,26	Ds (g cm <sup>-3</sup> )	1,38
P (mg dm <sup>-3</sup> )	11,35	Dp (g cm <sup>-3</sup> )	2,67
K <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	40,00	PT (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0,48
Na <sup>+</sup> (cmol dm <sup>-3</sup> )	0,22	CC (g g <sup>-1</sup> )	78,00
H+Al (cmol dm <sup>-3</sup> )	1,82	PMP (g g <sup>-1</sup> )	43,00
Al <sup>+3</sup> (cmol dm <sup>-3</sup> )	0,00	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	756,90
Ca <sup>+2</sup> (cmol dm <sup>-3</sup> )	3,00	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	59,10
Mg (cmol dm <sup>-3</sup> )	1,90	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	184,00
SB (cmol dm <sup>-3</sup> )	5,22	-	-
CTC (cmol dm <sup>-3</sup> )	7,03	-	-
V (%)	74,34	-	-



M (%)	0,00	-	-
MO (g Kg <sup>-1</sup> )	17,53	Classificação textural	Franco arenosa

SB = (Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup> + Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>); CTC = SB + (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>); V = (100 x SB/CTC); MO = matéria orgânica. Ds = densidade do solo; Dp = Densidade de partícula; Pt = Porosidade total; (1-(Ds/Dp)\*100) CC = Umidade volumétrica na capacidade de campo, - 0,033 Mpa; PMP = Umidade volumétrica no ponto de murcha permanente - 1,5 Mpa.

As plantas de beterraba foram irrigadas diariamente elevando-se, no início, a umidade do solo em torno de 80% da capacidade de campo (CC). As diferentes CEa foram obtidas pela utilização dos sais de NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O, na proporção de 7:2:1 (MEDEIROS, 1992) conforme Tabela 2. A irrigação com as fontes de água de diferentes salinidades foi iniciada 10 dias após a emergência. No primeiro DAE, a lâmina foi calculada pela equação proposta por Mantovani et al. (2009). A irrigação total necessária, em mm, foi calculada pela equação de Bernardo et al. (2008), considerando 100% de eficiência de aplicação da irrigação.

**Tabela 2.** Características químicas das águas utilizadas no experimento

Atributos	Condutividades da salinidade (dS m <sup>-1</sup> )				
	0,50	1,30	3,25	5,20	6,00
	Valores				
pH	7,00	7,50	7,40	7,30	7,40
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	3,22	3,70	3,67	3,35	3,90
Mg <sup>2+</sup>	1,33	1,78	1,93	2,03	2,98
Na <sup>+</sup>	1,70	5,92	12,57	20,5	24,20
K <sup>+</sup>	0,20	0,21	0,20	0,20	0,21
Ca <sup>2+</sup>	0,73	1,58	1,78	1,88	2,53
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,75	3,50	4,00	4,25	4,25
Cl <sup>-</sup>	3,40	10,90	30,40	48,90	58,15
RAS (mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	1,28	1,87	2,60	3,23	2,96
Classificação	C2S1	C3S3	C4S4	C4S4	C4S4

CEai = Condutividade elétrica a 25°C; RAS = Razão de adsorção de sódio  $[Na^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+}/2)]^{1/2}$ ; CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> = Ausente. Classificação da água conforme Richards (1954).

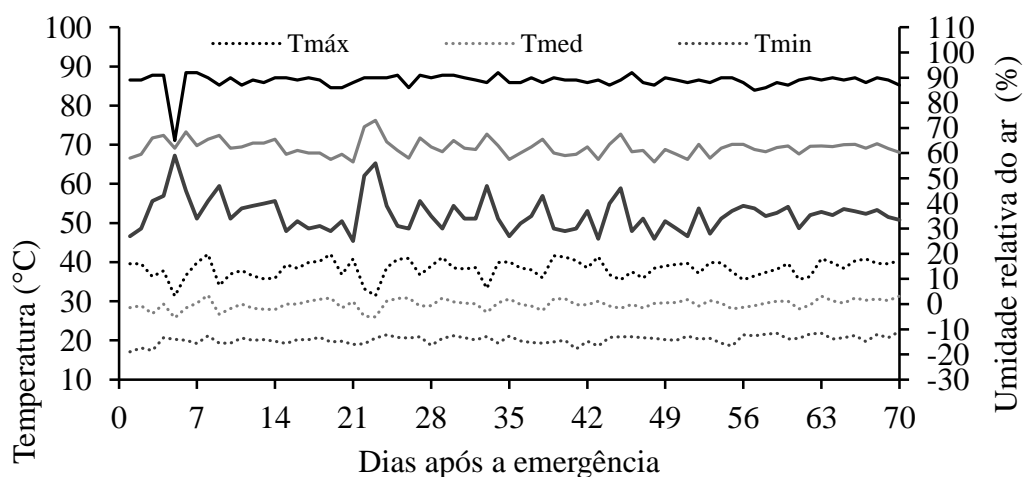
O silício foi aplicado sob a forma de silicato de potássio ( $K_2SiO_3$ ), líquido, com 12% Si e 15% de  $K_2O$ . As doses de Si dos tratamentos foram aplicadas através de pulverizador manual.

A aplicação do silício foi realizada aos 15 dias após a emergência, totalizando 7 aplicações durante o crescimento. A dose de silício foi  $77 \text{ ml L}^{-1}$  que equivale a 0,77 ml por vasos, dividido por 7 aplicações de (Si) vezes o total de vasos distribuídos aos tratamentos e diluídas em água destilada, sendo posteriormente 50 ml dessa solução aplicada via foliar em beterrabas.

As dosagens com silício via foliar na cultura de beterraba foram as seguintes: D0 = 0,00 sem silício, sendo 50 ml; D1 = 0,77 ml por vasos dividido por 7 aplicações de (Si) equivale a (0,11 ml\vasos x 24 vasos) igual a 2,64 ml de silício; D2 = 2,648 ml por vasos dividido por 7 aplicações de (Si) equivale a (0,378 ml\vasos x 24 vasos) igual a 9,08 ml de silício; D3 = 4,526 ml por vasos dividido por 7 aplicações de (Si) equivale a (0,646 ml\vasos x 24 vasos) igual a 15,52 ml de silício e a D4 = 5,296 ml por vasos dividido por 7 aplicações de (Si) equivale a (0,756 ml\vasos x 24 vasos) igual a 18,16 ml de silício.

Devido a fonte de silício (silicato de potássio) conter 15% de  $K_2O$ , procedeu-se a compensação via fertirrigação relativo a cada tratamento, adicionado a quantidade de K aplicada via foliar na adubação de cobertura com cloreto de potássio, mantendo assim, a padronização deste elemento, independente do tratamento.

Durante a condução do experimento foram registrados os dados climáticos (Figura 1) com termohigrômetro digital HT-600 Instrutherm<sup>®</sup>, instalado no interior da área experimental, à altura das plantas. Os valores climáticos médios de temperatura foram próximos da faixa considerada ideal (15 a 25°C) durante o ciclo da cultura, segundo Filgueira (2008).



**Figura 1.** Umidade relativa do ar e temperatura no período de condução do experimento. Temperaturas do ar máximas (T<sub>máx</sub>), médias (T<sub>med</sub>) e mínimas (T<sub>min</sub>) em °C; umidade relativa do ar máximas (UR<sub>máx</sub>), médias (UR<sub>med</sub>) e mínimas (UR<sub>min</sub>) em %.

A adubação de plantio e cobertura foi feita com 40, 180 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de NPK, respectivamente, com ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, de acordo com a análise química do solo e recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (IPA 2008). Durante a condução do experimento foi realizado o controle de pragas e plantas daninhas, a partir da catação manual e arranque das plantas invasoras.

O efeito dos tratamentos sobre a cultura da beterraba foi avaliado aos 30 e 60 dias após a irrigação com águas salinas e silício a partir das medições da concentração interna de carbono (C<sub>i</sub>) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática (g<sub>s</sub>) ( $\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), transpiração (E) ( $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), taxa de fotossíntese líquida (A) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), eficiência instantânea no uso da água (EiUA - A/E) calculada relacionando-a à fotossíntese líquida com a transpiração  $[(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})/(\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})]$  e a eficiência instantânea de carboxilação (EiC - A/C<sub>i</sub>)  $[(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})/(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})]$  a partir da relação entre a fotossíntese líquida e a concentração interna de carbono utilizando-se o analisador de gás infravermelho (IRGA) modelo LCpro+Sistem.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão polinomial, e para as avaliações repetidas no tempo utilizou-se o modelo misto (MIXED), utilizando-se o software estatístico SAS<sup>®</sup> University (Cody, 2015).

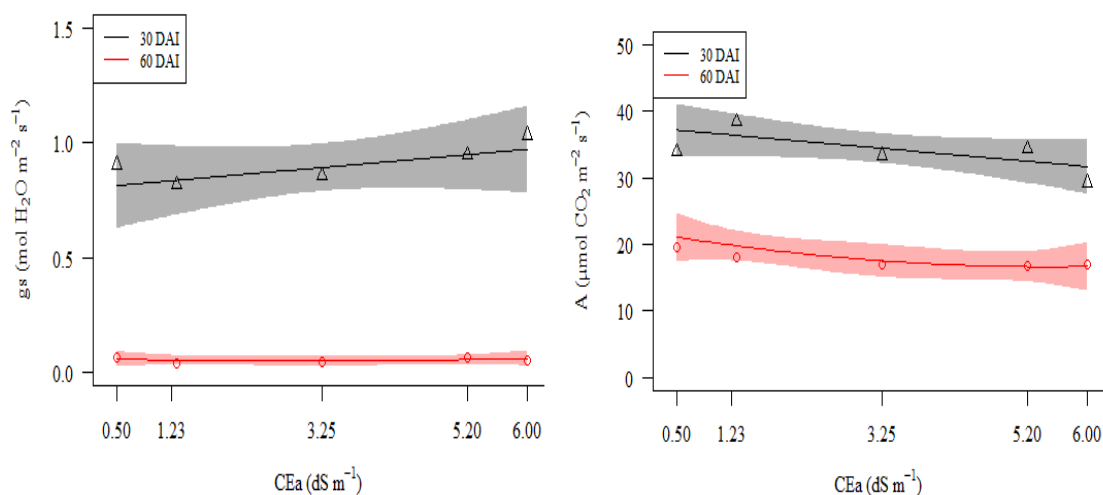
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

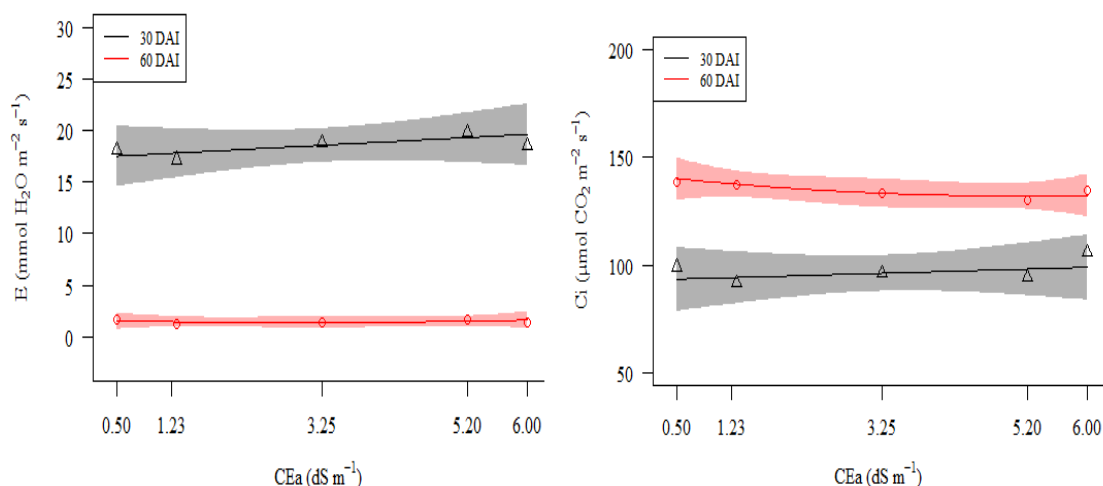
A condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) influenciou a condutância estomática (g<sub>s</sub>), fotossíntese líquida (A), concentração de carbono interno (C<sub>i</sub>) e transpiração (E) das plantas de beterraba aos 30 e 60 dias após o início da irrigação com água salina (DAI).

Aos 30 DAI, foi verificado aumento médio à medida que se elevou a CEa. Esse comportamento pode estar associado ao esforço da planta em sobressair-se do estresse. Contudo, aos 60 DAI, é notório uma redução drástica na condutância estomática em relação aos 30 DAI. Isso pode estar atrelado tanto ao excesso de sais na zona radicular ou mesmo à idade da planta, tendo em vista que não é notória variação significativa entre as CEa (Figura 2A).

O mesmo comportamento foi observado para a transpiração, o que está relacionado à abertura estomática ( $g_s$ ), pois à medida que há o fechamento dos estômatos, consequentemente, há decréscimo na taxa transpiratória (Figura 2C). A redução na condutância estomática pode ser atribuída principalmente, ao estresse salino, o qual as plantas de beterraba foram submetidas, dessa forma uma alternativa para reduzir a taxa de transpiração é o fechamento dos estômatos. Contudo, o fechamento dos estômatos reduz a taxa fotossintética em virtude da menor disponibilidade de  $\text{CO}_2$  (Pereira et al., 2013; Ghobadi et al., 2013; Cerqueira et al., 2015), ocasionando a redução no crescimento e desenvolvimento das plantas, corroborando os dados obtidos no presente trabalho.

Quanto à taxa de fotossíntese líquida, houve diferenças entre os dois períodos de avaliação nas CEa avaliadas. Aos 60 DAI a taxa fotossintética líquida foi menor (Figura 2B). Para a concentração interna de  $\text{CO}_2$  (Figura 2D) há diferença entre os períodos de avaliação, no entanto, a menor  $C_i$  foi aos 30 DAI. Provavelmente aos 60 DAI há maior concentração de carbono interno nos espaços intercelulares, e que esse não está sendo usado para os processos fotossintéticos.





**Figura 2:** Condutância estomática (gs) (A), fotossíntese líquida (A) (B), transpiração (E) (C) e concentração interna de carbono (Ci) (D) de plantas de beterraba aos 30 e 60 dias após o início da irrigação com água salina (DAI).

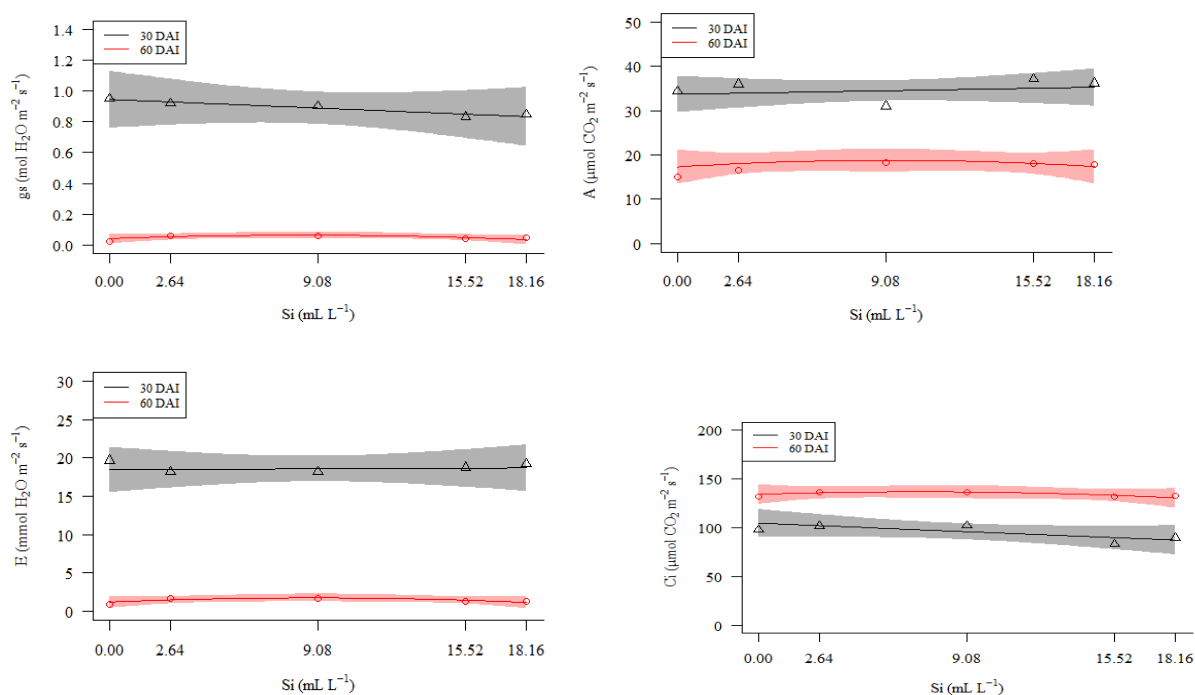
Observou-se que a condutância estomática das plantas de beterraba, aos 30 DAI, reduziu à medida que se elevou a dose de Si, já aos 60 DAI houve aumento até a dose de 9,08 mL L<sup>-1</sup>, decrescendo nas doses subsequentes (Figura 3A). O mesmo comportamento foi constatado para a transpiração (E), (Figura 3C).

Aos 30 DAI, a taxa de fotossíntese líquida mostrou ponderada diminuição com a dose de 9,08 mL L<sup>-1</sup> de Si, obtendo-se nesta a menor taxa de fotossíntese líquida (30  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e a maior taxa fotossintética líquida (39  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) foi obtido com a aplicação de 15,52 mL L<sup>-1</sup> de Si (Figura 3B). Aos 60 DAI, as plantas de beterraba apresentaram acréscimo conforme o aumento das doses de Si, sendo a maior taxa fotossintética líquida (19  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) com a aplicação de 15,52 mL L<sup>-1</sup> (Figura 3B). Esse comportamento pode ser atribuído aos efeitos benéficos do Si, dentre eles, a formação de uma camada física nas folhas, promovendo a redução na transpiração, com isso pode ter facilitado a abertura dos estômatos das plantas de beterraba (HECKMAN, 2013; CANTUÁRIO et al., 2014).

Outros estudos também evidenciaram efeitos benéficos do Si na atividade fotossintética e crescimento de muitas espécies de plantas (canola, soja, trigo, sorgo, tomate e milho) submetidas a condições de estresse salino, as quais tiveram maior área foliar, o teor de clorofila e melhorou a estrutura dos cloroplastos (TAHIR et al., 2012; BAE et al., 2012; YIN et al., 2013; HAGHIGHI e PESSARAKLI, 2013; ROHANIPOOR et al., 2013).

Aos 30 e 60 DAI observou-se que a concentração interna de CO<sub>2</sub> aumentou até a dose de 9,08 mL L<sup>-1</sup>, decrescendo nas doses subsequentes, obtendo-se nesta dose as maiores

concentrações internas de  $\text{CO}_2$  de 140 e 105  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente. A maior concentração de  $\text{CO}_2$  nas plantas de beterraba indica baixa atividade da enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase-oxigenase (Rubisco), entretanto, no presente trabalho a maior concentração de  $\text{CO}_2$  coincidiu com a maior atividade fotossintética, o que pode ter ocorrido alta atividade da Rubisco (SILVA et al., 2011; PAZERES et al., 2015).

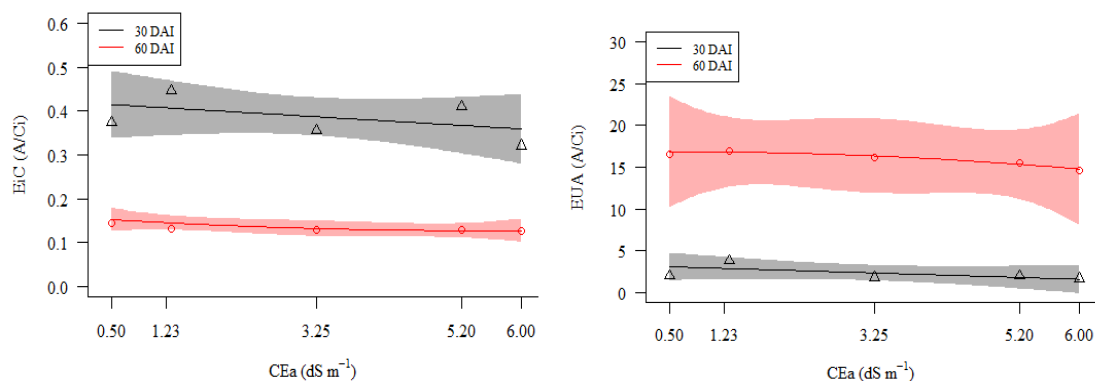


**Figura 3:** Condutância estomática ( $g_s$ ) (A), fotossíntese líquida ( $A$ ) (B), transpiração ( $E$ ) (C) e concentração interna de carbono ( $C_i$ ) (D) de plantas de beterraba aos 30 e 60 dias após a aplicação de silício.

A eficiência intrínseca de carboxilação ( $E_iC$ ), eficiência do uso da água ( $EUA$ ) e eficiência instantânea do uso da água ( $E_iUA$ ) apresentaram diferenças em ambos os períodos de avaliação em relação à CEa. Para a  $E_iC$ ,  $EUA$  e  $E_iUA$ , notou-se diferença em todos as CEa em relação ao período de avaliação. Sendo que para  $EUA$  e  $E_iUA$  as maiores médias foram observadas aos 60 DAI, ocorrendo o inverso para a  $E_iC$ .

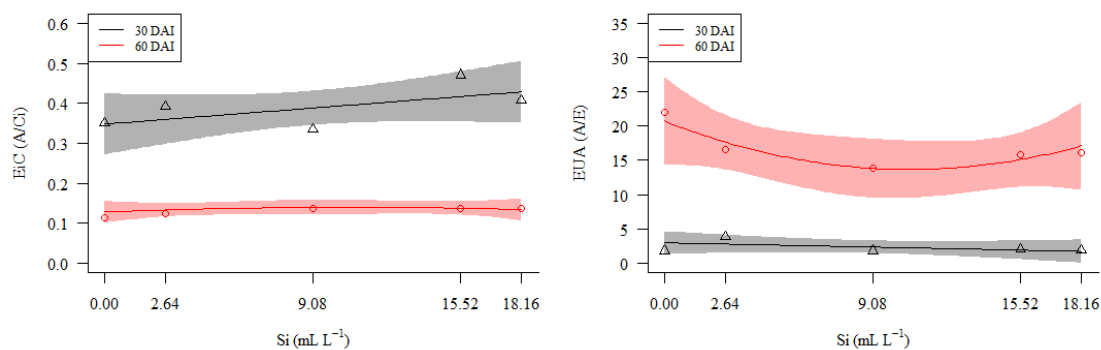
A eficiência intrínseca de carboxilação, aos 60 DAI, reduziu conforme o aumento das CEa, obtendo-se o maior valor nas plantas de beterraba irrigadas com água de 0,5  $\text{dS m}^{-1}$ , e o menor com irrigação com água de 1,23  $\text{dS m}^{-1}$ . Aos 30 DAI, a eficiência intrínseca da carboxilação das plantas de beterraba demonstrou oscilação (Figura 4A).

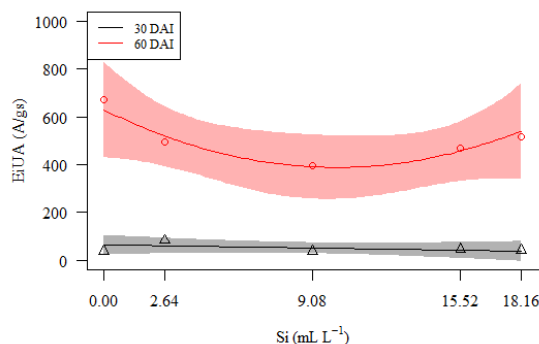
O incremento nas CEa reduziu a eficiência no uso da água das plantas de beterraba, apresentando o maior valor nas plantas irrigadas com água de  $0,50 \text{ dS m}^{-1}$ , aos 60 DAI o menor valor sob irrigação com água de  $3,25 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 4B).



**Figura 4:** Eficiência intrínseca de carboxilação (EiC) (A) e eficiência do uso da água (EUA) (B) de plantas de beterraba aos 30 e 60 dias após o início da irrigação com água salina (DAI).

Quanto à aplicação de Si, houve diferença entre os períodos de avaliação para a EiC, EUA e EiUA. Quanto ao comportamento em relação ao período de avaliação, a EUA e EiUA apresentaram maiores médias aos 60 DAI, enquanto a EiC foi aos 30 DAI. Notou-se que em todas as variáveis, exceto para a EiC, a aplicação de Si até a dose de  $9,08 \text{ mL L}^{-1}$  decresceu, aumentando nas doses subsequentes. Resposta o contrário foi observado para a EiC.





**Figura 5:** Eficiência intrínseca de carboxilação (EiC) (A), eficiência do uso da água (EUA) (B) e eficiência instantânea do uso da água (EiUA) (C) de plantas de beterraba submetidas à aplicação de silício (Si) aos 30 e 60 dias após o início da irrigação com água salina (DAI).

## CONCLUSÃO

A irrigação com águas salinas causou danos ao aparelho fotossintéticos e reduziu os níveis de eficiência do fotossistema II a partir de 0,50 dS m<sup>-1</sup>.

O incremento na salinidade da água de irrigação inibiu o potencial hídrico, a condutância estomática, a transpiração e a capacidade fotossintética nas folhas da beterraba independente dos dias avaliados.

A aplicação de silício promoveu maior atividade fotossintéticas das plantas de beterraba.

## REFERÊNCIAS

ALI, A.; BASRA, S.M.A.; HUSSAIN, S. et al. Increased growth and changes in wheat mineral composition through calcium silicate fertilization under normal and saline field conditions. **Chilean journal of agricultural research**, v.72, n.1, 2012.

AMORIM, A. F.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; LACERDA, C. F. de. Respostas fisiológicas de plantas adultas de cajueiro anão precoce à salinidade. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 113-121, 2010.

BAE, E.J.; LEE, K.S.; HUH, M.R. et al. Silicon significantly alleviates the growth inhibitory effects of NaCl in salt-sensitive ‘Perfection’ and ‘Midnight’ Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.). **Horticulture Environment and Biotechnology**, v.53, p.477-483, 2012.



CANTUÁRIO, F.S.; LUZ, J.M.Q.; PEREIRA A.I.A.; SALOMÃO L.C.; REBOUÇAS, T.N.H. Podridão apical e escaldadura em frutos de pimentão submetidos a estresse hídrico e doses de silício. **Horticultura Brasileira**, v.32, n.2, p.215-219, 2014.

CERQUEIRA, R. C.; COSTA, J. M.; CHAVES, M. M.; RODRIGUES, J. D. Fisiologia e metabolismo foliar em duas variedades de videira sujeitas a um ciclo de déficit hídrico e reidratação. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 10, p. 211-217, 2015.

Fernandes, D., Nojosa, C., Rodrigues, G., Mozarth, A., de Araújo Viana, T. V., Fernandes, V., ... & de Azevedo, B. M. (2018). Crescimento do milho verde sob lâminas de irrigação e adubação foliar silicatada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.12, nº.4, p. 2789 – 2798, 2018.

Ferraz, R. L. D. S., Magalhães, I. D., Beltrão, N. E. D. M., Melo, A. S. D., Neto, B., & Rocha, M. D. S. (2015). Photosynthetic pigments, cell extrusion and relative leaf water content of the castor bean under silicon and salinity. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.19, n.9, p.841–848, 2015.

Ferraz, R. L. S., de Macêdo Beltrão, N. E., Soares de Melo, A., Dourado Magalhães, I., Dantas Fernandes, P., & do Socorro Rocha, M. (2014). Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob aplicação de silício foliar. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v. 35, n. 2, p. 735-748, mar./abr. 2014.

Freire, J. L. O.; Dias, T. J.; Cavalcante, L. F.; Fernandes, P. D.; Lima Neto, A. J. Rendimento quântico e trocas gasosas em maracujazeiro amarelo sob salinidade hídrica, biofertilização e cobertura morta. *Revista Ciência Agronômica*, v.45, p.82-91, 2014. <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/2420/906>

GHOBADI, M.; TAHERABADI, S.; GHOBADI, M.; MOHAMMADI, G.; JALALI-HONARMAND, S. Antioxidant capacity, photosynthetic characteristics and water relations of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in response to drought stress. *Industrial Crops and Products*, v. 50, p. 29-38, 2013.

GUNTZER, F.; KELLER, C.; MEUNIER, J. D. Benefits of plant silicon for crops: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n. 1, p. 201-213, 2012.

HAGHIGHI, M.; PESSARAKLI, M. Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherrytomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. **Scientia Horticulturae**, v.161, p.111-117, 2013.

HECKMAN, B.J. Silicon: A Beneficial Substance. **Better Crops**, v.97, n.4, 2013.

Kusvuran, S. Effects of drought and salt stresses on growth, stomatal conductance, leaf water and osmotic potentials of melon genotypes (*Cucumis melo* L.). *African Journal Agricultural Research*, v.7, p.775-781, 2012. <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR11.1783>

Munns, R.; Tester, M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, v.59, p.51-81, 2008. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>

Nunes, R. L. C.; Dias, N. da S.; Lima, M. V. da S.; Almeida, J. P. N. de; Costa, J. M. da. Produção de mudas de pinha (*Annona squamosa* L.) utilizando água de rejeito salino. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.7, p.1-6, 2012.

Oliveira, F. I. F. de; Souto, A. G. de L.; Cavalcante, L. F.; Medeiros, W. J. F. de; Bezerra, F. T. C.; Bezerra, M. A. F. Quality of jackfruit seedlings under saline water stress and nitrogen fertilisation. *Semina: Ciências Agrárias*, v.38, p.2337-2350, 2017. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n4SUPLp2337>

PEREIRA, T.S.; LOBATO, A.K.S.; TAN, D.K.Y. Positive interference of silicon on water relations, nitrogen metabolism, and osmotic adjustment in two pepper (*Capsicum annuum*) cultivars under water deficit. **Australian Journal of Crop Science**, v.7, n.8, p.1064-1071, 2013.

PRAZERES, S. S.; LACERDA, C. F.; BARBOSA, F. E. L.; AMORIM, A. V.; ARAUJO, I. C. S.; CAVALCANTE, L. F. Crescimento e trocas gasosas de plantas de feijão-caupi sob irrigação salina e doses de potássio. *Revista Agro@mbiente On-line*, v.9, n.2, p.111-118, 2015.

Prisco, J. T.; Gomes Filho, E.; Miranda, R. de S. Physiology and biochemistry of plants growing under salt stress. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de; Gomes Filho, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. Cap.12, p.163-180.

ROHANIPOOR, A.; NOROUZI, M.; MOEZZI, A. et al. Effect of Silicon on Some Physiological Properties of Maize (*Zea mays*) under Salt Stress. **Journal of Biodiversity and Environmental Sciences**, v.7, n.20, p.71-79, 2013.

Sá, F. V. da S.; Brito, M. E. R.; Ferreira, I. B.; Antônio Neto, P.; Silva, L. A.; Costa, F. B. Balanço de sais e crescimento inicial de mudas de pinheira (*Annona squamosa* L.) sob substratos irrigados com água salina. *Irriga*, v.20, p.544-556, 2015. <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v20n3p544>

Sá, F. V. da S.; Pereira, F. H. F.; Lacerda, F. H. D.; Silva, A. D. Crescimento inicial e acúmulo de massa seca de cultivares de mamoeiro submetidas à salinidade da água em cultivo hidropônico. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.8, p.435- 440, 2013. <https://doi.org/10.5039/agraria.v8i3a2663>

SAHEBI, M. et al. Application of silicon in plant tissue culture. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, v. 52, n. 3, p. 226-232, 2016.

SILVA, E. N. D., RIBEIRO, R. V., FERREIRA-SILVA, S. L., VIÉGAS, R. A., SILVEIRA, J. A. G. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. *Scientia Agricola*, v. 68, n. 1, p. 62-68, 2011.

Silva, T. G. F., Zolnier, S., Grossi, J. A. S., Barbosa, J. G., Moura, C. R. W., & Muniz, M. A. (2015). Crescimento do girassol ornamental cultivado em ambiente protegido sob diferentes níveis de condutividade elétrica de fertirrigação. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 56, n.5, p. 602-610, set/out, 2009.

Sousa, J. R. M.; Gheyi, H. R.; Brito, M. E. B.; Xavier, D. A.; Furtado, G. F. Impact of saline conditions and nitrogen fertilization on citrus production and gas exchanges. *Revista Caatinga*, v.29, p.415– 424, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n218rc>

Stephen D. Tyerman<sup>1 \*</sup>, Rana Munns<sup>2,3</sup>, Wieland Fricke<sup>4</sup>, Borjana Arsova<sup>5</sup>, Bronwyn J. Barkla<sup>6</sup>, Jayakumar Bose<sup>1</sup>, Helen Bramley<sup>7</sup>, Caitlin Byrt<sup>1</sup>, Zhonghua Chen<sup>8</sup>, Timothy D. Colmer<sup>9</sup>, Tracey Cuin<sup>10</sup>, David A. Day<sup>11</sup>, Kylie J. Foster<sup>12</sup>, Matthew Gilliham<sup>1</sup>, Sam W. Henderson<sup>13,14</sup>, Tomoaki Horie<sup>15</sup>, Colin L. D. Jenkins<sup>16</sup>, Brent N. Kaiser<sup>17</sup>, Maki Katsuhara<sup>18</sup>, Darren Plett<sup>13,19</sup>, Stanley J. Miklavcic<sup>12</sup>, Stuart J. Roy<sup>13</sup>, Francisco Rubio<sup>20</sup>, Sergey Shabala<sup>21</sup>, Megan Shelden<sup>1</sup>, Kathleen Soole<sup>16</sup>, Nicolas L. Taylor<sup>22</sup>, Mark Tester<sup>23</sup>, Michelle Watt<sup>24</sup>, Stefanie Wege<sup>1</sup>, Lars H. Wegner<sup>25</sup> and Zhengyu Wen. Energy costs of salinity tolerance in crop plants. **New Phytologist**, v. 221, n. 1, p. 25-29, 2019.

TAHIR, M.A.; AZIZ, T.; FAROOQ, M. et al. Silicon-induced changes in growth, ionic composition, water relations, chlorophyll contents and membrane permeability in two salt-stressed wheat genotypes. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.58, p.247-56, 2012.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I. M.; Murphy, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2017. 858p

YIN, L.; WANG, S; LI, J. et al. Application of silicon improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of Sorghum bicolor. **Acta Physiol Plant**, v.35, p.1-9, 2013.

ZHU, Y.; GONG, H. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. *Agronomy for Sustainable Development*, v.34, n.2, p.455-472, 2014.

